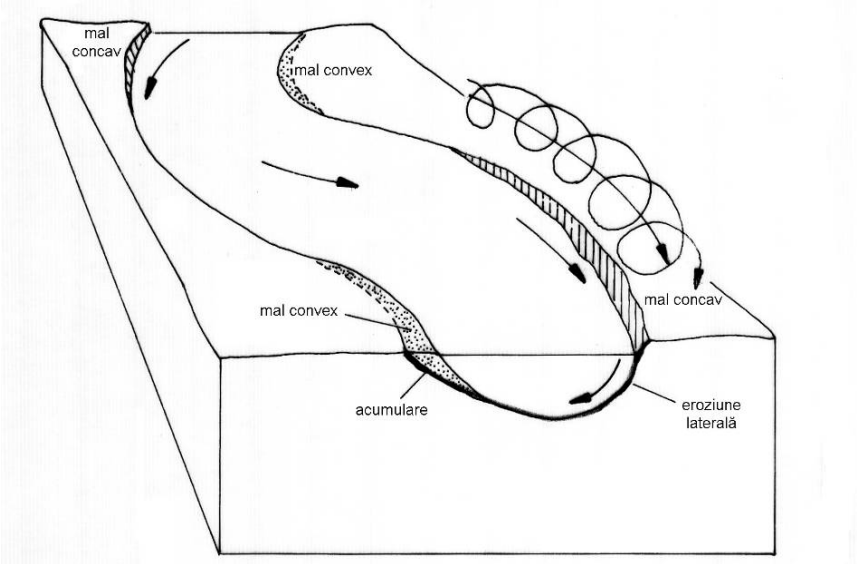
VASILE LOGHIN

ELEMENTE DE GEOMORFOLOGIE FLUVIATILĂ



Valahia University Press
Târgovişte, 2009

Tehnoredactare: Vasile Loghin
George Murătoreanu
Emil Preda

Cartografie: Vasile Loghin
George Murătoreanu
Veronica Stana

INTRODUCERE

Lucrarea „Elemente de morfologie fluviatilă” este un manual destinat studenţilor şi masteranzilor de la specializarea geografie, preocupaţi să aprofundeze cunoştinţele din cel mai vast şi mai important domeniu al geomorfologiei sculpturale – acţiunea modelatoare a apelor curgătoare exercitată asupra celei mai mari părţi din uscatul suprafeţei terestre.

Conţinutul de fond al acestui studiu este alcătuit din probleme de geomorfologie dinamică şi de geomorfologie aplicată privitoare la albiile de râu.

Fundamentele sale ştiinţifice sunt cele statuate de geomorfologia clasică (sistem de noţiuni, principii, concepte, legităţi) şi geomorfologia contemporană (analiza sistemică, metodele cantitative şi informatice, metodele experimentale). Prin continua raportare la acestea, am dorit să aducem în atenţia actualilor şi viitorilor practicieni teoria necesară punerii în operă a studiilor şi a proiectelor tehnice legate de amenajarea râurilor şi a spaţiului riveran, a bazinelor hidrografice în ansamblu.

Lucrarea este compusă din patru capitole. Primul *(„Reţele şi bazine hidrografice, albii şi văi fluviatile”*) are caracter introductiv, oferind o privire preliminară asupra râurilor/apelor curgătoare ca artere/sisteme de drenaj, ca agent modelator principal al scoarţei terestre şi ca factor atât de important în activitatea societăţii umane (cu atâtea implicaţii în viaţa comunităţilor umane – habitat, activitate economică).

În capitolul 2 *(„Morfologie şi morfometrie fluviatilă”)* au fost expuse metodele de analiză morfometrică a albiilor de râu şi a bazinelor hidrografice, cu accent pe modelele (legile) Horton-Strahler. Aici a fost subliniată ideea însemnătăţii practice a acestor legi în ingineria amenajării albiilor şi a bazinelor hidrografice în general.

Un capitol cu titlul *„Dinamica apei în albii”* (capitolul 3) l-am considerat strict necesar, întrucât înţelegerea modelării albiilor de râu este posibilă numai dacă cunoaştem principiile şi mecanismele hidraulicii albiilor: forţe care determină sau influenţează curgerea apei în albii, tipuri de curgere a apei în albii, curenţii din apa râurilor, factorii de control ai curgerii apei în albii şi consecinţele în modelarea albiilor.

Capitolul 4 *(„Modelarea albiilor fluviale”)* este partea de fond a acestui studiu de geomorfologie a albiilor. După o caracterizare sintetică a eroziunii fluviatile ca acţiune dominantă în denudarea masei continentale a Terrei, au fost explicate detaliat procesele, mecanismele şi formele eroziunii fluviatile, aşa cum se manifestă în cele trei tipuri de albii: albii rectilinii, albii meandrate, albii ramificate.

O atenție sporită este dată albiilor meandrate, accentul fiind pus pe dinamica şi morfologia lor, pe problemele de ordin practic pe care le generează datorită impactului cu teritoriul riveran, mai precis cu aşezările, infrastructura şi fondul funciar agricol.

Materialele ilustrative, alcătuite din schițe, hărți şi imagini satelitare, sunt de natură să completeze textul şi să facă mai accesibilă înțelegerea problemelor abordate.

Elaborarea acestei lucrări de geomorfologie fluviatilă s-a bazat pe unele din cele mai recente achiziții ştiințifice ale disciplinei, consemnate de literatura de specialitate, pe datele obținute prin observațiile proprii de teren asupra eroziunii fluviatile şi a problemelor de ordin aplicativ. Cercetările s-au derulat în special în lungul râului Ialomița şi al afluenților săi de diferite ordine, dar şi pe analiza imaginilor satelitare.

1. REȚELE ŞI BAZINE HIDROGRAFICE, ALBII ŞI VĂI FLUVIALE

Apele curgătoare (râurile) reprezintă un segment al circuitului apei în natură. Ele constituie rezultatul scurgerii liniare a apei la suprafața uscaturilor concordant cu linia de cea mai mare pantă, sub comanda gravitației. Scurgerea superficială este posibilă numai în zonele / regiunile climatice în care regimul hidric este excedentar, adică acolo unde aportul meteorologic prin precipitații depăşeşte pierderile prin evapotranspirație şi infiltrație, ceea ce înseamnă cvasitotalitatea suprafeței continentale. În regiunile hiperaride, aceasta practic lipseşte. O scurgere efemeră se poate totuşi forma numai la intervale mari de timp. Scurgerea nu se poate forma nici în zonele/regiunile cu îngheț permanent ori acoperite cu ghețari.

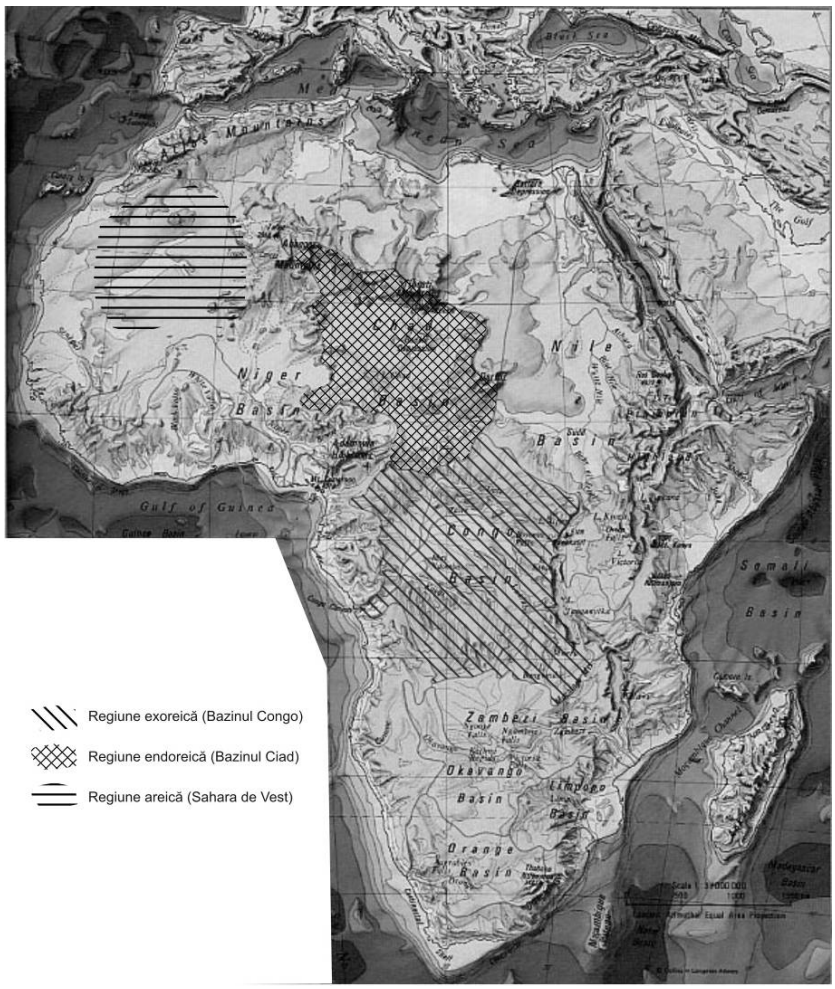
Drenajul prin albii, urmând liniile de maximă înclinare ale unei suprafețe de uscat determinate, generează, prin confluențe succesive, rețele de ape curgătoare (*rețele hidrografice*, *sisteme fluviale*), în care se individualizează *colectorul* şi *tributarii (afluenții*) de diferite ordine.

Rețelele de drenaj conduc apele şi materialele antrenate în albii spre oceane ori mări care aparțin Oceanului Planetar (cazul *regiunilor exoreice*, cele mai extinse), spre mări închise (Marea Caspică), lacuri permanente sau temporare (cazul *regiunilor endoreice*, fiind vorba de regiunile drenate de Volga, Ural, Amu Daria, Sâr Daria, Tarim etc.). Regiunile lipsite de drenaj, respectiv de rețele hidrografice, sunt numite *regiuni areice*. Avem exemplul deşerturilor hiperaride sau absolute. În funcție de condițiile geologice şi fizico-geografice atât de diferite în spațiu şi timp, rețelele hidrografice urmează o anumită evoluție, atingând un anumit grad de ierarhizare, anumite dimensiuni, forme, densități şi regimuri de scurgere. Sunt caracteristici care condiționează raporturile râurilor cu spațiul locuit / amenajat şi modul de tratare a problemelor de ordin hidrotehnic.

Astfel, în raport cu condițiile geologice, rețeaua hidrografică poate fi adaptată sau inadaptată la trăsăturile rocii, structurii şi tectonicii. Ca exemple de adaptare sunt văile de falie, iar ca modalitate de inadaptare sunt *epigenia* prin *antecedență* (persistența cursului în timpul tectonogenezei) şi *epigenia* prin *supraimpunere* (când intervine o cuvertură sedimentară fosilizantă sau o suprafață de nivelare) (Coque R., 2006).

După configurație, se pot recunoaşte următoarele tipuri de rețele de drenaj: *dendritice* (arborescente), care sunt cele mai comune (Jiul, Argeşul, Congo), *radiar divergente* (pe flancurile conurilor vulcanice şi al domurilor), *radiar convergente* (în interiorul marilor cratere, ca cele de tip *calderă*), *inelară* sau *anulara* (în jurul conurilor vulcanice şi al

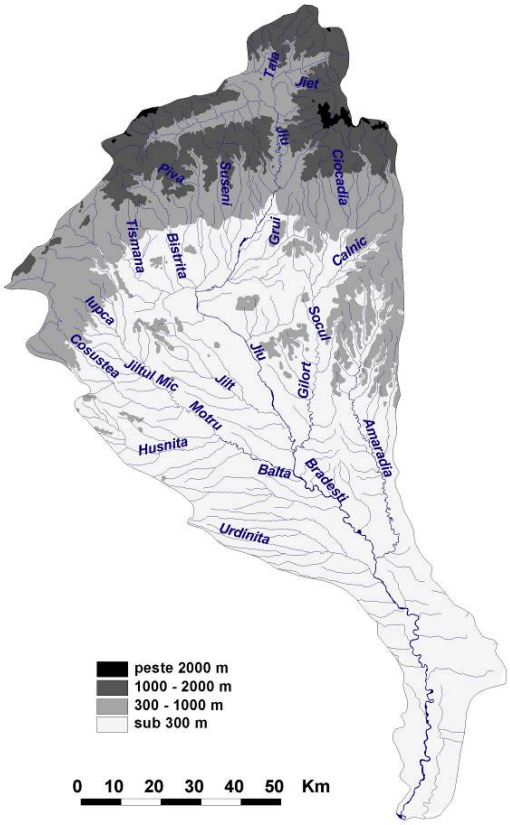
domurilor), *rectangulară* (pe structuri faliate, cu faliile dispuse în unghi drept, de exemplu Timiş-Bistra).



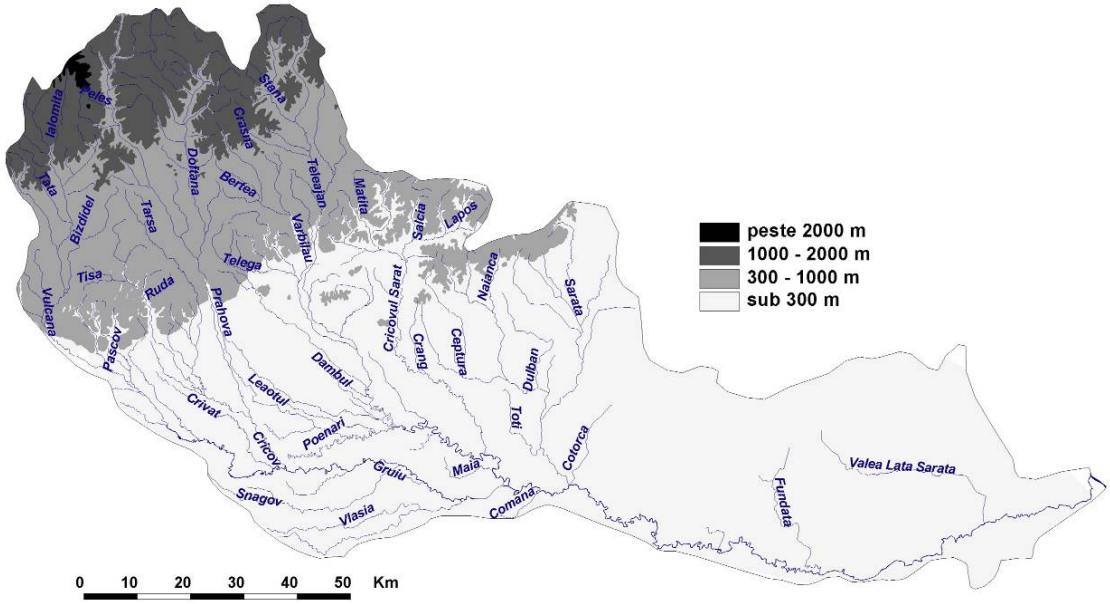
Drenajul pe continentul african. Sunt delimitate bazinele hidrografice şi haşurate unele regiuni exoreice, endoreice şi areice

În funcție de gradul de evoluție se ajunge la o anumită ierarhizare, densitate şi dimensiune a rețelelor hidrografice. Astfel, rețelele de drenaj din generațiile mai vechi au ajuns la o ierarhizare mai avansată (peste ordinul 4). În procesul confluențelor de artere de acelaşi ordin sau de ordine diferite se formează un curs colector, adică râul principal, toate celelalte având calitatea de tributari, respectiv de afluenți (de diferite ordine). Sunt rare cazurile în care o parte determinată a suprafeței terestre este drenată de o singură arteră, de un curs solitar. Ne este cunoscut Nilul, fluviu care traversează partea estică a Saharei. Se înțelege, cu cât gradul de ierarhizare este mai mare, cu atât şi densitatea rețelei hidrografice pe bazin creşte. În acelaşi sens creşte, de regulă, şi suprafața drenată, respectiv mărimea bazinului hidrografic.

În raport cu colectorul, afluenții pot fi unilaterali (predominant pe o parte) sau bilaterali. De aici configurarea de rețele hidrografice asimetrice (de exemplu, Argeşul, Ialomița şi Siretul) şi rețele simetrice (Amazonul, Jiul etc.).



Bazin hidrografic simetric – Bazinul Jiului



Bazinul Ialomiței – un exemplu de bazin asimetric

După regimul de scurgere, apele curgătoare se împart în trei tipuri: permanente, semipermanente şi intermitente (spasmodice).

Suprafaţa pe care se organizează o reţea de drenaj unitară este desemnată prin termenul de *bazin hidrografic*. Acest spaţiu, determinat ca dimensiuni şi formă prin o serie de factori de control, se delimitează grafic de spaţiile de drenaj înconjurătoare prin ceea ce se numeşte *cumpănă de ape* (linia de împărţire a apelor). Ea corespunde, de regulă, cu linia celor mai mari înălţimi dintre bazinele vecine (în munţi şi dealuri - linia culmilor muntoase sau deluroase). Neconcordanţele dintre cele două linii – hidrografică şi geomorfologică – sunt date de condiţiile de evoluţie a reliefului şi a reţelei de râuri în trecutul geologic al teritoriului respectiv, în care un rol important au jucat captările. De exemplu, cumpăna de ape a bazinului Prahova din sectorul carpatic, aflată mai la nord de linia masivelor Bucegi şi Baiu, nu coincide cu linia celor mai mari altitudini (Bucegi, 2505 m; Baiu, 1939 m), obârşiile acestui râu găsindu-se încă de la începutul cuaternarului în arealul Platformei Predeal, în Munţii Clăbucetelor. La fel, obârşia Buzăului se află la nord de linia masivelor carpatice Siriu şi Penteleu. Şi exemplele pot continua. Toate aceste remanieri (schimbări de drenaj) s-au petrecut din cauza captărilor iniţiate de mişcările tectonice de înălţare din axul carpatic de la sfârşitul pliocenului şi începutul cuaternarului şi din lungul acestei ultime perioade.

Alte aspecte de neconcordanţă între cele două linii se întâlnesc în arealele carstice, acolo unde drenajul de suprafaţă este complicat şi înlocuit adesea de un drenaj subteran şi mai complicat, trădat de frecvenţa mare a sorburilor, ponoarelor şi izbucurilor.

Între reţeaua de drenaj şi bazinul hidrografic există relaţii de interdependenţă. Reţeaua generează bazinul, iar acesta, la rândul său, susţine reţeaua cu masa şi energie.

Forma şi suprafaţa bazinelor hidrografice diferă în funcţie de configuraţia şi extensiunea reţelei de drenaj, reflectând împreună condiţiile geologice şi fizico-geografice de evoluţie spaţio-temporală a acestor entităţi. Astfel, în decupajul hidrografic al suprafeţelor continentale se pot identifica bazine hidrografice de foarte mici dimensiuni (cele periferice, de ordinul 1), care pot atinge 0,5-5 km^2, dar şi bazine de dimensiuni uriaşe (Amazon: 7.180.000 km^2, Dunărea: 805.300 km^2, Siret: 44.835 km^2). De aici rezultă şi directă proporţionalitate între trăsăturile cantitative ale reţelei hidrografice / bazinului hidrografic şi particularităţile de alimentare şi de regim hidrologic (particularităţile scurgerii apei şi a materialelor în albii). Aceste caracteristici hidrologice devin tot mai complexe cu cât dimensiunile reţelei hidrografice / bazinului hidrografic sunt mai mari.

O arteră de drenaj (torent, pârâu, râu, fluviu) constituie, în mod concret, un flux material şi energetic direcţionat liniar care urmează panta maximă a suprafeţei fizice a uscaturilor, în virtutea forţei gravitaţionale. Aşadar, într-o reţea hidrografică se propagă

fluxuri de apă şi materiale (aluviuni) dinspre treptele înalte ale reliefului terestru spre cele joase, dinspre obârşie spre vărsare, până în bazinele de sedimentare marină sau lacustră. În acest fel, bazinele hidrografice sunt, în mod natural, sisteme spaţiale (teritoriale) deschise, cu intrări şi ieşiri de energie şi materie, cu un anumit *bilanţ hidrologic* (diferenţa dintre sursele de alimentare cu apă şi pierderi - evapotranspiraţie infiltraţie), cu o anumită scurgere lichidă şi de aluviuni, cu un anumit buget de aluviuni. Trebuie subliniat aici că bazinul hidrografic este unitatea morfogenetică fundamentală pentru cea mai mare parte a suprafeţei continentale a Terrei. Ca atare, analizele geomorfodinamice şi hidrologice, atât de importante sub raport ştiinţific şi practic, se efectuează în mod unitar pe bazine hidrografice.

În procesul scurgerii prin albiile lor, râurile întrebuinţează energia în mecanismele / procesele complexe şi interdependente de eroziune, transport şi acumulare (aluvionare), cunoscute, în ansamblu, sub termenul de *eroziune fluvială* sau *eroziune normală.*

Concentrând liniar un flux de materie şi energie mecanică, râurile îşi construiesc un canal de scurgere, concretizat într-o vale - *vale fluvială* sau numai o albie - *albie fluvială*.

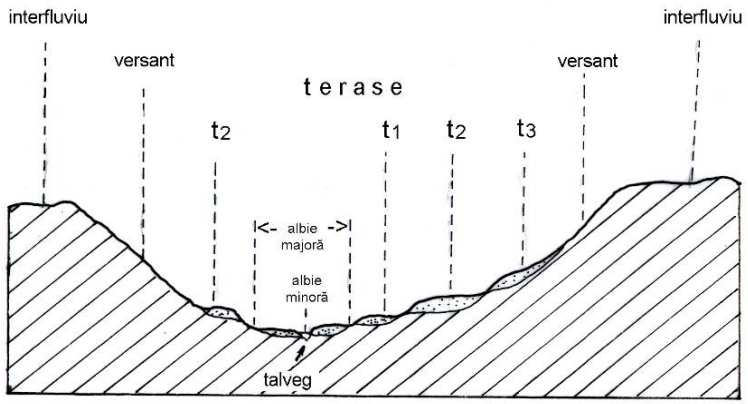
Valea fluvială, în întregul ei morfologic, şi albia în particular, ca forme de relief sculptural, reflectă direct proporţional dimensiunea şi stadiul de evoluţie a arterei respective, dar şi stadiul de evoluţie a reliefului unităţii pe care o străbat şi pe care râurile în cauză au modelat-o de-a lungul timpului geologic. Aducem aici în atenţie un punct din cele trei legi formulate de Playfair în legătură cu reţelele de drenaj, anume că *văile sunt proporţionale ca mărime cu râurile ce curg prin ele* (Strahler A., pag. 435). Există şi cazuri neconforme, acelea în care un râu mic se înscrie într-o vale mult prea largă faţă de potenţialul său, creată, în mod sigur, de un râu mai puternic. Este cunoscut cazul Călmăţuiului, râu care a preluat o paleoalbie a Buzăului, părăsită în timpul divagărilor cuaternare impuse de mişcările de subsidenţă din Câmpia Siretului Inferior.

Formarea văilor fluviale a dus implicit la decuparea *interfluviilor* (intervăilor). Ca urmare, unităţile modelate de apele curgătoare se prezintă morfosculptural ca o alternanţă de văi şi interfluvii având trăsături morfometrice şi morfografice diferite de la o treaptă de relief la alta şi chiar în limitele aceleiaşi unităţi/subunităţi morfologice, în funcţie de condiţiile geologice şi fizico-geografice (climă în special), dar şi în funcţie de stadiul de evoluţie a unităţilor/subunităţilor respective.

O vale fluvială trebuie analizată atât în profil longitudinal, cât şi transversal.

În general, o vale fluvială este alcătuită din următoarele elemente morfologice : *albie minoră* (cu *talvegul* - şanţul sculptat în patul albiei minore, numit *şi canal de etiaj*), *albie majoră (lunca), terase, versanţi*. Aceste elemente (forme ale morfologiei fluviale) îmbracă aspecte diferite în lungul aceleaşi văi, de la obârşie la vărsare, îndeosebi atunci când aceasta

are lungimi mari, aparţinând unei generaţii mai vechi, şi când străbate cele trei trepte majore ale reliefului continental. Pe de altă parte, văile care traversează unităţi geologice şi geomorfologice uniforme prezintă asemănări, ceea ce face posibilă realizarea de racordări de *umeri de eroziune/nivele de eroziune* şi nivele de terase şi, deci, de reconstituiri, extrapolări şi generalizări morfogenetice şi morfocronologice. Aceasta este calea înţelegerii evoluţiei paleogeomorfologice pliocen-cuaternare a diferitelor unităţi teritoriale.

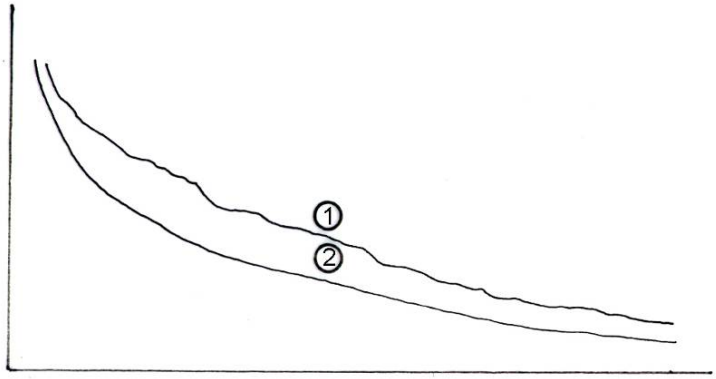


Elementele morfologice ale unei văi fluviale

Pentru văile cu lungimi de sute şi mii de kilometri, dezvoltate peste toate cele trei forme mari de relief - munţi, dealuri/podişuri, câmpii - diferenţele morfologice sunt nete între sectorul superior, mijlociu şi inferior ale râurilor respective, atât în profil longitudinal, cât şi în profil transversal.

Profilul longitudinal al râurilor (linia care uneşte punctele cele mai joase ale albiei minore, adică *talvegul*) prezintă, în general, o linie curbă cu neregularităţi, având o pantă generală descrescătoare de la izvor la vărsare, cu numeroase schimbări (fracţionări) de pantă, numite *rupturi de pantă*. În procesul eroziunii fluviale în adâncime,coordonat de *nivelul de baza(baza de eroziune) local si general,*care, in sens absolut, este *nivelul marii* (0 m), denumit de geograful american Robert Christopherson (2009) *ca nivel de baza ultim/ultimate base level* (pag.433), tendinţa generală este de reducere a pantei şi de atenuare a neregularităţilor din profilul longitudinal. Este tendinţa de a realiza deci un profil regularizat, de forma unei hiperbole cu concavitatea în sus, numit *profil de echilibru dinamic*. Este un profil ideal (teoretic), posibil a se realiza într-o fază avansată de evoluţie a văilor, a reliefului în ansamblu, caracterizat prin nivelare şi altitudine redusă, aproape de nivelul de 0 m, adică de nivelul de baza final, cel mai coborât nivel pentru eroziunea fluviala si pentru procesele de denudaţie în general. Acesta este stadiul de evoluţie numit *peneplenă*, în care procesele de eroziune în adâncime sunt înlocuite de eroziunea laterală şi aluvionare. Realitatea este mult

mai complexă, încât vorbim de un *profil de echilibru real*, marcat de neregularități de formă şi variații de dinamică, care sunt generate îndeosebi de aportul de apă şi de încărcătură al afluenților, de rocă şi structură. Când se realizează sectorial (sectoare în stare de *grade),* apar rupturi de ordin morfogenetic. Această mobilitate în timp şi spațiu justifică termenul de *profil de echilibru dinamic*.



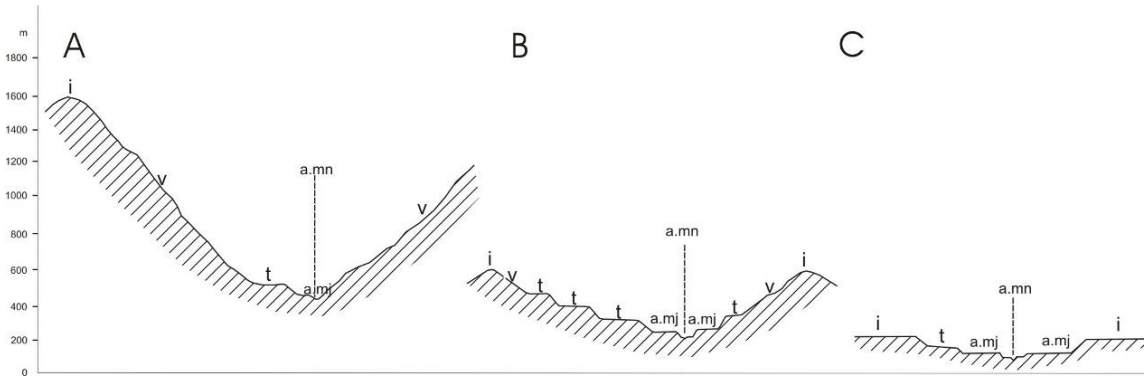
Două aspecte ale profilului longitudinal al unei albii de râu: 1. profil longitudinal real (curbă cu neregularități); 2. profil longitudinal de echilibru dinamic (teoretic, ideal; o hiperbolă cu concavitatea în sus)

După geomorfologul francez Roger Coque (2006), profilul de echilibru este *o curbă regularizată, astfel că în toate punctele sale viteza curentului asigură transportul totalității încărcăturii solide venite din amunte, fără ca el să erodeze sau să acumuleze* (*une courbe regularisee, telle qu'en tous ses points la vitese du courant assure le transport de la totalite de la charge solide venue d'amont, sans qu'il y ait ni creusement ni accumulation, pag.160)*. Aşadar, este o curbă are implică existența unei stări de echilibru între forța de transport şi încărcătură, între eroziune (ablație, după acest autor) şi acumulare, condiție necesară şi suficientă pentru stabilitatea unui profil într-o perioadă anumită.

Deosebirile sunt mari în lungul celor trei sectoare. În sectorul superior, aferent munților, panta generală este mare, cu frecvente schimbări de unghi şi formă (praguri, cascade, repezişuri) de ordin petrografic şi structural. În sectorul mijlociu, aferent, de regulă dealurilor şi podişurilor, profilul longitudinal are o pantă globală mai redusă, cu rupturi de pantă mai mici şi mai rare. Ca atare, eroziunea în adâncime este diminuată, o mare parte din energie fiind întrebuințată în subminarea malurilor şi lărgirea albiei (eroziune laterală). Transportul este încă eficace, aluvionarea este şi ea posibilă în porțiunile cu panta de scurgere mai redusă. În sectorul inferior, corespunzător câmpiilor (inclusiv câmpiilor de nivel de bază), panta talvegului se reduce foarte mult, ceea ce face din aluvionare şi eroziunea laterală a malurilor procese dominante. De aici marea mobilitate a albiilor în plan orizontal (mobilitatea laterală a albiilor), cu meandrări, despletiri, divagări, revărsări, inundații.

În *profil transversal*, văile fluviale, de formă generală în „V”, devin tot mai largi din amunte în avale, dinspre munți spre câmpii, în concordanță cu condițiile geologice şi geomorfologice ale unităților pe care le străbat. În munți, văile sunt în general adânci şi înguste, albia minoră este adesea în contact direct cu versanții, de unde aspectul de chei sau defilee pe care îl iau. În aceste sectoare pot fi observate elemente morfologice de interes ştiințific, precum *umeri de eroziune, terase in rocă, meandre încătuşate*. Sunt sectoarele în care versanții cu pante mari (peste 35^{o}C) prezintă o morfodinamică accentuată (surpări, rostogoliri, alunecări). Sunt însă frecvente cazurile de râuri mari de munte în lungul cărora alternează porțiunile înguste (ca cele descrise) cu cele largi, de tipul bazinetelor de eroziune (frecvente la confluențe mai mari) şi al depresiunilor de mari dimensiuni. Alternarea de defilee şi depresiuni constituie rezultatul unor procese evolutive complexe prin care s-au articulat sectoare diferite de râuri/vale, urmare a *captărilor*, *antecedențelor şi epigenezelor*. Este suficient de edificator în acest sens exemplul Oltului, cu articulațiile sale în defileele Tuşnad, Racos şi Turnu Roşu-Cozia. În depresiunile intramontane şi submontane, văile s-au dezvoltat lateral, căpătând extensiune remarcabilă albiile majore şi terasele (vezi valea Oltului în Depresiunea Braşov şi în Depresiunea Făgăraş). În dealuri şi podişuri, văile devin tot mai largi din amunte în avale, albiile minore, frecvent despletite sau meandrate, sunt însoțite de albii majore (lunci), expuse revărsărilor şi inundaților (la viituri mari, istorice) şi de mai multe nivele de terase, adecvate pentru aşezări, căi de comunicație şi terenuri agricole. Versanții au o dinamică actuală intensă şi cu grad de risc ridicat, pe fondul substratului geologic susceptibil la alunecări, surpări şi activitate torențială. În câmpii, versanții sunt puțin evidențiați sau aceştia lipsesc, căci această treaptă de relief este aproape de nivelul de bază general (300 - 0 m). Sunt dezvoltate mult albiile majore sau luncile. În general, sunt prezente 1-2 nivele de terase. Mai multe terase pot fi în *câmpiile piemontane* (Câmpia Piteştiului, de exemplu), dar lipsesc cu totul în *câmpiile de subsidență*. Ca atare, râurile îşi utilizează energia erodând malurile şi lărgind albia de curgere; transportul se realizează îndeosebi în suspensie, iar aluvionarea are loc pe patul albiei minore (bancuri submerse, bancuri emerse, ostroave, insule), lateral albiei minore ori în albia majoră (grinduri), la confluențe (conuri aluviale), la vărsarea în lacuri sau mări/oceane, unde pot lua forma de delte. Albiile, erodate şi aluvionate alternativ față de axul lor, devin tot mai mobile, meandrează şi difluează. Supraaluvionate şi cu maluri tot mai slab marcate, albiile pot fi părăsite la viituri, fenomen cunoscut sub termenul de *avulzie* **(**părăsire bruscă*)* sau de *divagare*. El reprezintă o modalitate de producere a remanierilor hidrografice, alături de captări, autocaptări şi deversări. Sunt caracteristice îndeosebi pentru câmpiile joase, de subsidență, numite, de aceea, şi *câmpii de divagare*: Câmpia Titu, Câmpia Gherghiței, Câmpia Siretului Inferior, Câmpia Timişului, Câmpia

Crişurilor, Câmpia Someşului. Toate aceste aspecte ridică probleme importante de ordin practic: regularizarea albiilor, protecția luncilor şi a teraselor joase față de inundații.



Diferențieri morfologice între văile de munte (A), de deal – podiş (B) şi câmpie (C):
a.mn – albie minoră; a.mj – albie majoră; t – terasă; v – versant; i - interfluviu

Purtătoare de mari energii mecanice (cinetice), râurile au acționat de-a lungul timpului ca cei mai puternici agenți modelatori pentru regiunile cu rețele de drenaj permanent sau temporar. Râurile au erodat şi nivelat (peneplenizat) formele înalte de relief, au transportat materialele erodate, dezagregate ori cele provenite gravitațional de pe versanți, au sedimentat compartimentele joase ale suprafeței terestre (fundul văilor, bazinele lacustre şi marine). Râurile au transferat, la scara mare, planetară, materia scoarței din domeniul continental (în special dinspre unitățile de orogen, supuse peneplenizării) în domeniul marin, ca principale bazine de sedimentare. Aşadar, râurile au rolul cel mai important în *planația* reliefului planetar.

Procesele de eroziune fluvială continuă să se manifeste şi astăzi după aceleaşi legi naturale: *legea nivelului de bază, legea profilului de echilibru*, *legea eroziunii diferențiale, legea planației*. Iată, deci, procesele şi problemele, care vor fi explicate în această lucrare. Nu vom scăpa din vedere faptul că eroziunea fluvială, în înțelesul ei integral, şi mecanismele prin care se desfăşoară procesele fluviale se află astăzi, în măsură mai mare decât oricând în istorie, sub influența activității umane.

Întrucât văile fluviale sunt intens populate, în lungul lor înregistrându-se unele din cele mai densități demografice şi cele mai mari aglomerații urbane, cu direcționarea căilor fluviale, rutiere şi feroviare de transport, cu condiții excelente de practicare a agriculturii, ele continuă să rămână în sfera interesului privind: a) amenajarea albiilor (regularizarea albiilor/cursurilor; b) protejarea împotriva inundațiilor a aşezărilor, a infrastructurii, a terenurilor agricole şi silvice din spațiul riveran; c) valorificarea resurselor de apă (hidroenergie, alimentare etc.). Aceste măsuri trebuie să fie aplicate prin programe de management al râurilor şi, în mod integrat, prin proiectele de amenajare complexă a bazinelor hidrografice.

Toate aceste probleme vor fi tratate în lucrarea de față, o lucrare cu multiple valențe de geomorfologie aplicată vizând albiile de râu şi spațiul riveran. În explicarea mecanismelor morfodinamicii albiei şi în discutarea aspectelor de ordin practic vor fi utilizate fundamentele teoretice ale drenajului şi ale hidraulicii albiilor.

2. MORFOGRAFIE ŞI MORFOMETRIE FLUVIALĂ

Trăsăturile morfografice şi morfometrice ale rețelelor de drenaj, bazinelor hidrografice şi ale albiilor, expresie a unui anumit cumul de factori de control şi a unui stadiu evolutiv (generație diferită de cursuri, rețele fluviale şi bazine hidrografice), condiționează scurgerea apei în albii, tipologia şi dinamica proceselor geomorfologice de albie. De aceea este necesară o succintă analiză geomorfografică şi geomorfometrică a rețelelor şi bazinelor hidrografice, a cursurilor/albiilor de râuri.

În analiza morfografică şi morfometrică a rețelelor de râuri, a bazinelor hidrografice şi a albiilor aplicăm legile Horton-Strahler, legi elaborate de cei doi oameni de ştiință americani la mijlocul secolului al XX-lea[1]. Ne referim la: legea numărului de râuri, legea lungimii râurilor, legea suprafeței bazinelor hidrografice. La acestea se adaugă, gratie cercetărilor ulterioare, legea pantei medii a cursurilor de apă, legea pantei bazinelor hidrografice, legea debitelor medii însumate. Subliniem aici contribuțiile geografilor români Ion Zăvoianu (1978) şi Florina Grecu (1992, 2003).

De asemenea, în investigarea morfohidrografică (lungimi, perimetre, suprafețe) şi a regimului hidrologic (nivele) se poate utiliza *analiza fractală*, concepută de matematicianul francez Benoît Mandelbrot în anul 1975.[2] Este o metodă aplicată şi în geomorfologia românească.

Unul dintre obiectivele morfometriei fluviale este obținerea de informații cantitative despre geometria sistemului fluvial care să poată fi corelate cu informațiile hidrologice. Un exemplu îl constituie relația dintre debitul *(Q)* şi suprafața bazinului de recepție. Logica ne spune că debitul unui râu creşte pe măsura creşterii suprafeței bazinului de recepție. Acestei creşteri i se poate aplica un model matematic.

2.1. Tipuri de rețele hidrografice

Rețelele de drenaj au luat anumite configurații în procesul de organizare/ierarhizare, de evoluție. Structurile acestea indica modul de articulare a segmentelor de rețea exterioară (ordinul 1) şi de rețea interioară (ordinul 2,3...). Procesul respectiv s-a desfăşurat în condiții diferite de climă (în special de precipitații), de substrat geologic (tectonică, rocă, structură) şi de relief, care au funcționat ca factori de control în generarea anumitor structuri de rețele. Se

[1] Inginerul hidrotehnician Robert E. Horton şi geograful A.N. Strahler
[2] În 1975 a fost publicată lucrarea lui Benoît Mandelbrot intitulată *„Obiectele fractale: formă, hazard, dimensiune”*

cunosc 10 tipuri principale de asamblări de segmente, respectiv de rețele hidrografice,din care reținem:

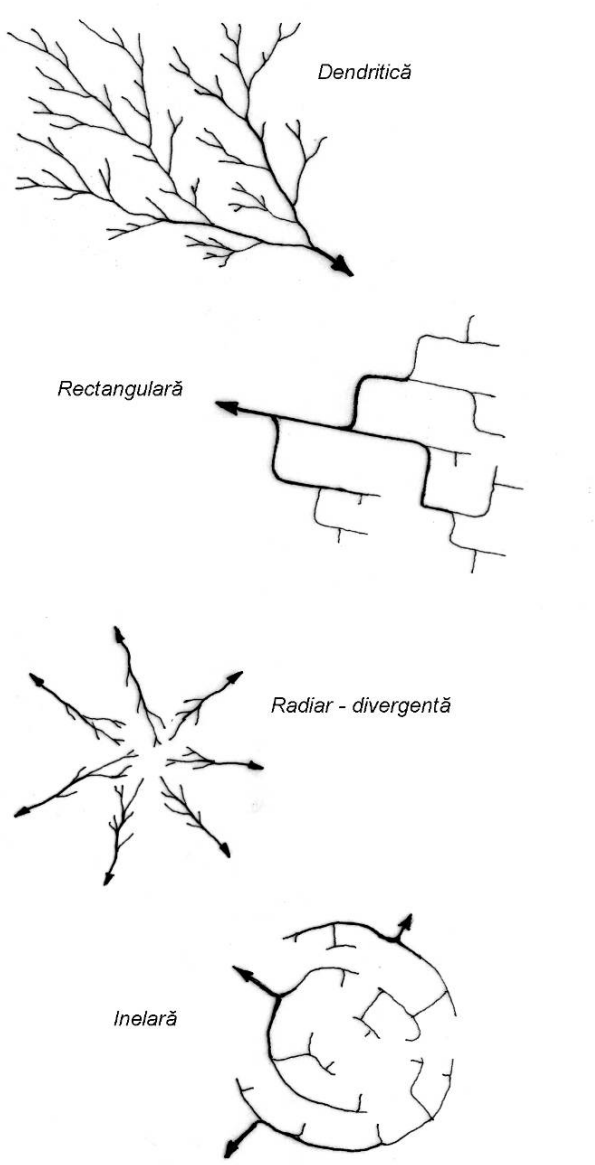
- *rețeaua dendritică* (cu o ierarhizare avansată, arborescentă; categorie foarte comună);

- *rețeaua rectangulară* (sectoarele de râu se asociază în unghiuri drepte; este specifică regiunilor cu structuri faliate; un exemplu este cel al rețelei Râu Mare - Bistra - Timiş);

- *rețeaua sub formă de plasă*;

- *rețeaua radiară:*

  - *radiar convergentă* (în cazul depresiunilor tectonice, ca în bazinul Congo, şi în cazul craterelor vulcanice)
  - *radiar divergentă* (în jurul unui bombardament tectonic - dom, brahianticlinal - sau con vulcanic);



Câteva tipuri de rețele hidrografice
(Busch R. M., Tassa D., 1990)

- *rețeaua inelară* sau *anulara* (la periferia domurilor);

- *rețeaua labirint* (în deltele fluviale, cu brațe principale, cu numeroase brațe secundare şi canale, cu lacuri, bălți şi mlaştini);

- *rețeaua anarhică*, dezorganizată (în câmpiile glaciare, unde scurgerea este dezorganizată de către depozitele morenice care configurează o mulțime de lacuri; în regiunile aride, cu drenaj fragmentat, unde aporturile de precipitații fiind insuficiente, nu este posibilă conectarea scurgerii între bazinele şi cuvetele vecine; în regiunile carstice, unde scurgerea de suprafață este fragmentată de infiltrarea şi de scurgerea subterană.

2.2. Ierarhizarea rețelei hidrografice. Ordinul *segmentului de râu*[3]

Rețelele hidrografice, în procesul dezvoltării spațiale şi temporale, înregistrează o ierarhizare treptată, arterele (segmentele de râu) căpătând o anumită poziție (exterioară sau interioară), funcție (tributar sau colector) şi dimensiune (ordin de mărime). În acelaşi mod şi timp se produce şi ierarhizarea bazinelor hidrografice.

Ierarhizarea, ca operațiune morfohidrografică, presupune numerotarea arterelor hidrografice dintr-un sistem fluviatil față de colectorul principal, cel care se varsă în mare. Este operațiunea de ordonare a râurilor (şi a bazinelor hidrografice) pe baza raporturilor ierarhice dintre ele, de stabilire a ordinului segmentului de râu.

Cercetătorii au propus trei modele de exprimare a gradului de ierarhizare a rețelei de drenaj:

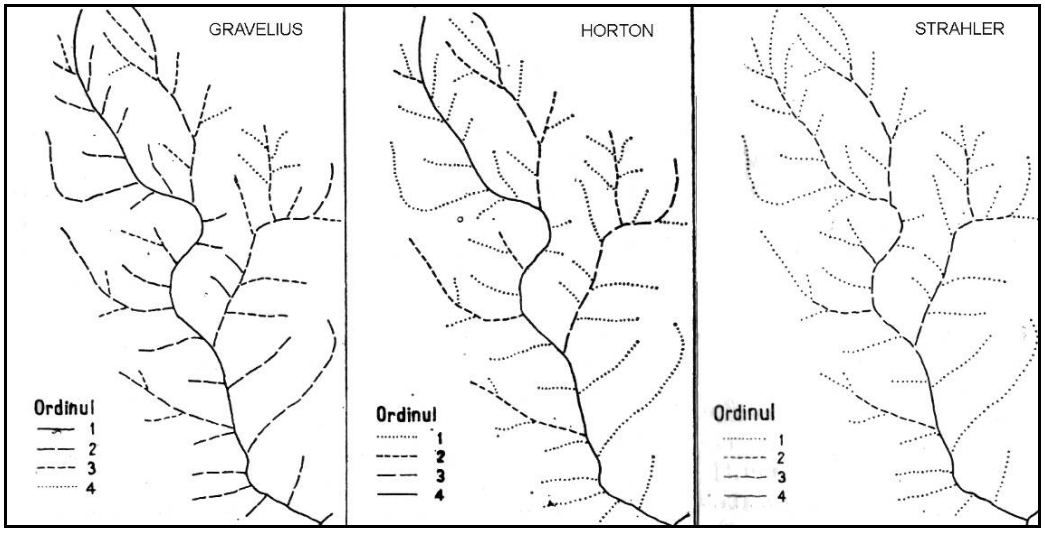
a) unul, mai vechi, al lui Gravelius (1914), în care râul colector principal este considerat de ordinul 1; în acest sistem de ordonare a râurilor (şi a bazinelor hidrografice) pe baza raporturilor dintre ele, se aplică regula bifurcării succesive;

b) alte două, mai noi, elaborate de R. E. Horton (1945) şi A. N. Strahler (1952), care atribuie ordinul 1 talvegului elementar, aflat la originea scurgerii superficiale, regula de ordonare (de ierarhizare) fiind cea a confluențelor succesive.

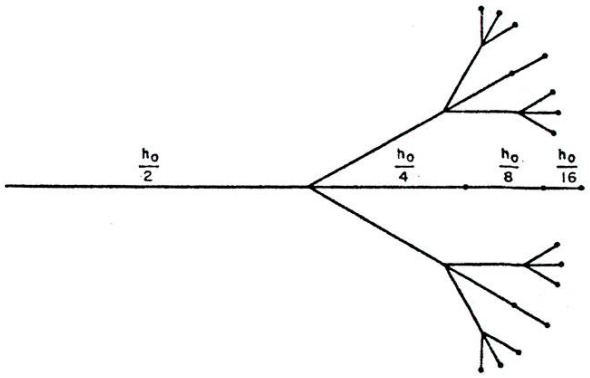
Astăzi sunt mai utilizate modelele concepute de Horton şi Strahler, care pot fi exprimate sub forma *legea ordinului segmentului de râu*. Aceasta ia în considerare în primul rând arterele mici de drenaj, în general periferice, prin care începe organizarea scurgerii. Ele sunt artere elementare, fără afluenți, cărora li se atribuie cifra 1. Două artere elementare care sunt considerate de ordinul 1, prin confluență, duc la formarea unei artere de ordinul 2 şi aşa mai departe. Când două cursuri de ordin diferit confluează, cursul de apă rezultat păstrează

[3] Segment de râu - porțiune de albie dintre izvor şi prima confluență(jonctiune), dintre două confluențe consecutive, dintre ultima confluență şi vărsare.

ordinul celui mai important. Aşadar, această metodă are o bază genetică. Ea permite evaluări cantitative prin aplicarea metodelor statisticii matematice.

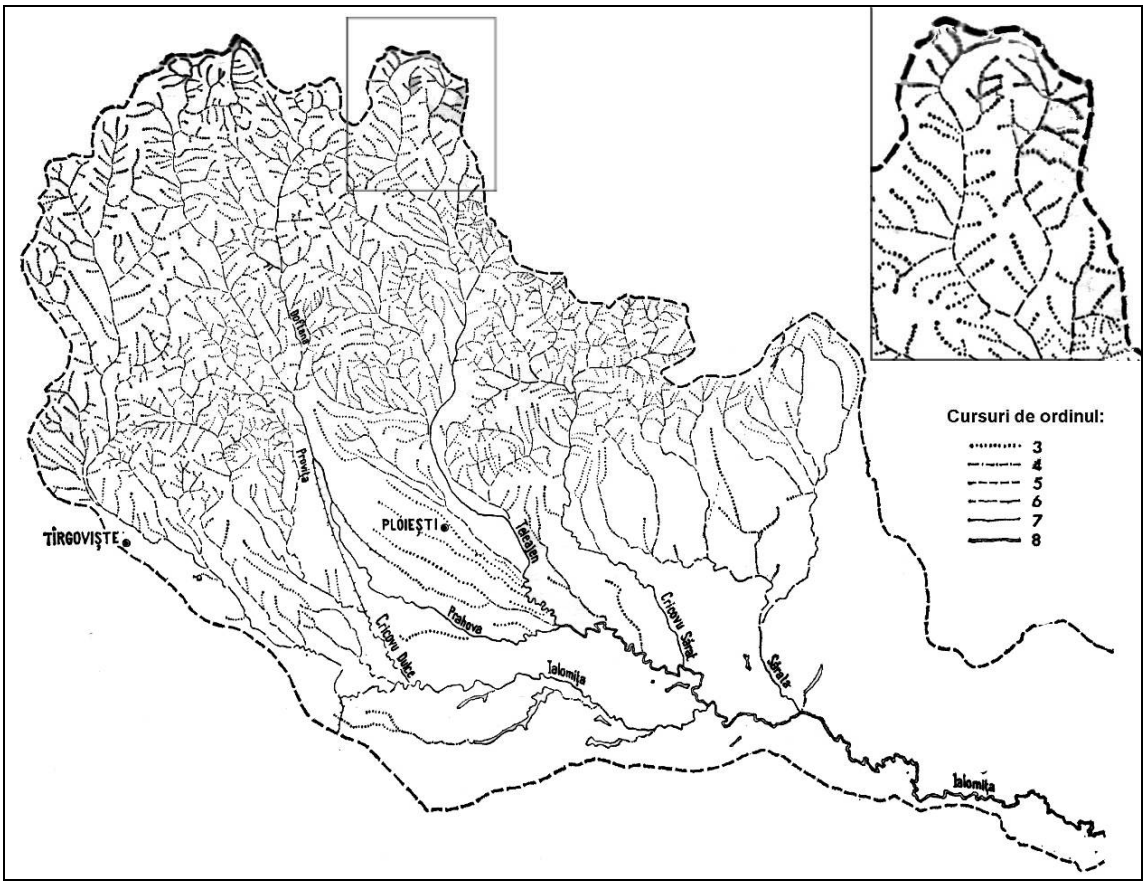


Sisteme de ierarhizare a rețelei hidrografice (Zăvoianu I., 1978)



Model de drenaj redat prin geometrie fractală (Grecu F., Comănescu L., 1998)

Ca atare, în analiza rețelei hidrografice ce porneşte de la cele mai mici artere spre cele mai mari, deci în ordinea crescândă, în sensul că un râu de ordinul x se formează după unirea sau confluența a două râuri de ordin x-1.



Ierarhizarea reţelei hidrografice din bazinul Ialomiţei în sistemul Horton Strahler (Zăvoianu I., 1978)

2.3. Numărul de râuri (numărul segmentelor de râu)

Stabilirea ordinului *segmentului de râu* a permis determinarea numărului segmentelor de râu. Robert E. Horton a formulat în 1945 *legea numărului de râuri*. În virtutea acesteia, numărul segmentelor de râu de ordin inferior dintr-un bazin tinde să formeze o progresie geometrică începând cu un singur segment de ordinul maxim şi mărindu-se cu un raport constant, reprezentat de *coeficientul de bifurcaţie*[4]. Coeficientul de bifurcaţie (R_b) este raportul dintre numărul segmentelor de un anumit ordin şi numărul segmentelor de ordin imediat superior.

Având determinat coeficientul de bifurcaţie, se poate estima numărul de râuri dintr-un bazin hidrografic, legea lui Horton fiind de forma:

$N_u = R_b^{(k-u)}$,

în care:

N_u - numerele segmentelor; R_b - coeficientul de bifurcaţie

u - ordinul segmentului; k - ordinul cursului principal (segmentul de ordin maxim).

Numărul total de segmente de râu dintr-un bazin se calculează după formula:

[4] A.N. Strahler, pag. 444

$\sum N = \frac{R_b^k - 1}{R_b}$, în care:

$\sum N$ - suma segmentelor din fiecare ordin;

R_b - raportul (coeficientul) de bifurcație.

2.4. Lungimea râurilor (segmentelor de râu)

Lungimea râurilor, mai exact a segmentelor de râu, se calculează după o formulă stabilită tot de Horton şi Strahler:

$L_r = \frac{L_c}{\cos\alpha}$, în care L_c - lungimea proiecției cartografice a segmentelor de râu, iar α - panta medie a segmentelor respective. Aceasta este *legea lungimii segmentelor de râu*.

Aplicarea legii lungimii râurilor a permis şi formularea următorului enunț: *„Lungimile medii cumulate ale segmentelor de râu de ordine succesive tind să formeze o progresie geometrică, începând cu lungimea medie a segmentelor de primul ordin şi mărindu-se cu un coeficient de lungime constant"* (A. N. Strahler, pag. 446).

2.5. Suprafața bazinelor

Legea suprafețelor bazinale (legea suprafețelor însumate), elaborată de Horton, are formularea următoare: *„Suprafețele medii ale bazinelor de ordine succesive tind să formeze o progresie geometrică, începând cu aria medie a bazinelor de primul ordin şi mărindu-se cu un raport constant – raportul sau coeficientul de arie."* (A. N. Strahler, pag. 450).

Coeficientul de arie (R_a) se obține astfel:

$R_a = \frac{\overline{A}_u}{A_{u-1}}$, în care $\overline{A}_u$ - suprafața medie a bazinelor de ordinul *u*.

Legea suprafețelor bazinelor are următoarea exprimare matematică:

$\overline{A}_u = \overline{A}_1 R^{(u-1)}$

Informațiile cantitative geomorfometrice primesc valoare morfodinamică în măsura în care pot fi corelate cu informațiile hidrologice. De exemplu, relația dintre debitul mediu şi suprafața bazinului hidrografic: $Q = a \cdot A^b$, în care Q - debitul, A - suprafața bazinului, a - constantă numerică, b - un exponent.

Rezultă că în condițiile geografice date, debitul creşte direct proporțional cu suprafața bazinului. Este o relație foarte importantă de care se ține seama în proiectele tehnice, deoarece

se pot estima, indirect, debitele medii în orice punct al sistemului de drenaj prin măsurarea suprafeței bazinului în amonte de punctul respectiv.

În legile Horton sunt asociate lungimea medie a râurilor şi aria bazinelor cu ordinul râurilor. Astfel, lungimea râurilor şi suprafețele bazinelor cresc în raport constant cu ordinul acestora. Aceasta este *legea creşterii alometrice.*

2.6. Panta albiei râurilor

Panta albiei râurilor sau panta profilului longitudinal al talvegului reprezintă unghiul format de segmentul considerat al albiei/talvegului şi planul orizontal.

Înclinarea se poate exprima şi prin numărul de metri cu care coboară albia/talvegul pe o distanță orizontală de 100 m (m %) sau la 1000 m (m ‰).

Legea lui Horton legată de panta râurilor este formulată astfel: *„pantele medii ale segmentelor de râu de ordine succesive mai mari dintr-un bazin tind să formeze o progresie geometrică inversă care se micşorează cu o constantă – raportul sau coeficientul de pantă"* (A.N. Strahler, 1973, pag. 452).

Ecuația acestei legi are următoarea formă:

$$\overline{S}_u = \overline{S}_1 R_s^{(u-1)},$$

în care: S_u - panta medie a fiecărui ordin

u - ordinul segmentelor de râu

R_s - coeficientul de pantă

Coeficientul de pantă este definit ca un raport de forma următoare:

$$R_s = \frac{\overline{S}_u}{\overline{S}_{u-1}}$$

Coeficientul de pantă are o valoare unică, constantă.

De reținut că panta medie a talvegului se stabileşte pe baza diferenței de nivel dintre punctele extreme ale râului şi lungimea acestuia.

2.7. Alte elemente morfografice şi morfometrice

Pentru înțelegerea scurgerii apei şi a morfodinamicii actuale pe suprafețe bazinale şi în lungul albiilor sunt utile şi alte elemente morfografice şi îndeosebi morfometrice, care se obțin prin analiza hărților topografice, aerofotogramelor şi hărților satelitare sau prin observații şi măsurători de teren. Acestea şi cele redate anterior trebuie să fie considerate corelat şi însumat. Aici redăm principalele variabile care definesc bazinul hidrografic, unitate

morfogenetică de bază, în care intrările şi ieşirile pot fi cuantificate şi parţial controlate de om prin lucrări de amenajare (hidrotehnice, silvotehnice şi agrotehnice):

- *perimetrul (P)* - lungimea cumpenei de apă care conturează un bazin hidrografic;

- *factorul de formă (coeficientul de formă Horton-Cf),* ca raport între suprafaţa bazinului – *Sb* şi pătratul lungimii acestuia L^2;

- *lungimea bazinului* - parametru măsurat între punctele extreme ale bazinului hidrografic;

- *densitatea de drenaj* - reprezintă raportul dintre lungimea reţelei de drenaj (inclusiv a talvegurilor lipsite temporar de ape) dintr-un bazin oarecare şi suprafaţa acestuia.

- *elongaţia* - este raportul dintre diametrul cercului cu aceeaşi arie ca a bazinului şi lungimea bazinului; acest parametru este foarte important în analizele referitoare la regimul de scurgere (debite, nivele).

- *diferenţa de nivel dintre punctele extreme ale unei artere hidrografice;*

- *diferenţa de nivel dintr-un bazin hidrografic;*

- *panta bazinelor hidrografice* - valoarea medie a pantei dintr-un bazin hidrografic .

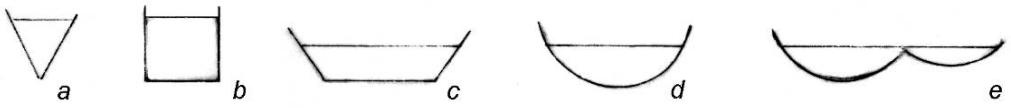
Trebuie arătat că pentru modelul morfometric al drenajului sunt necesare: numărul segmentelor de râu (numărarea segmentelor de acelaşi ordin), suma lungimilor segmentelor de râu şi media lungimii segmentelor de râu.

2.8. Morfologia, morfometria şi morfografia albiilor

Albia este canalul creat de apele curgătoare în drumul lor direcţionat de panta cea mai mare. Acesta este alcătuită, în cele mai multe cazuri, dintr-o *albie minoră* şi o *albie majoră.*

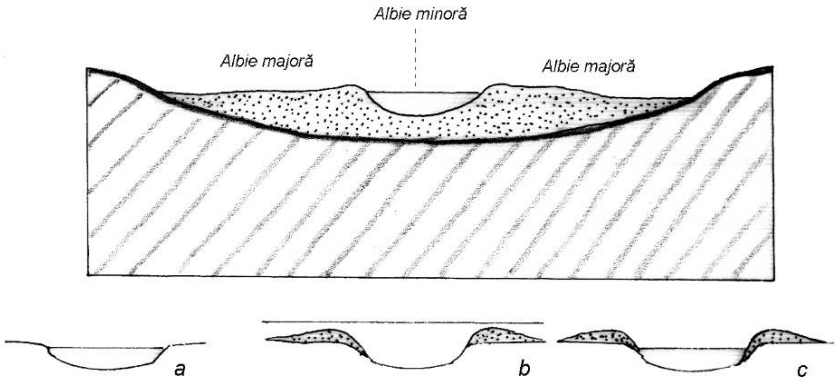
Albia minoră sau *matca râului* este canalul de scurgere al unui râu la debite medii. Constituie organul elementar de scurgere, având dimensiuni condiţionate de asigurare (Coque R.,2006). Ea este alcătuită dintr-un pat (patul albiei) şi din cele două maluri conducătoare (malul drept şi malul stâng). În patul albiei este săpat *canalul de etiaj,* care corespunde debitelor minime. În cadrul lui se înscrie talvegul, linia sinuoasă care uneşte punctele cele mai joase în lungul albiei minore (respectiv a canalului de etiaj) şi care corespunde, de regulă, cu linia vitezei maxime (firul apei, creasta râului). Talvegul mai poartă numele de ş*enal*.

Albia minoră poate fi unitară sau descompusă în braţe (braţe principale, braţe secundare).



Tipuri geometrice de albii: a. triunghiular; b. rectangular; c. trapezoidal; d. semicircular; e. compus

Albia majoră este albia extinsă dincolo de malurile albiei minore, ca urmare a debordării acestora în timpul apelor mari (în special al *viiturilor)*. Mai este denumită prin termenii de *şes aluvial* sau *câmpie de inundaţie*. În literatura română este preferat termenul autohton de *luncă*, mai exact de *luncă inundabilă*. O clasificare a luncilor o găsim şi în lucrarea *Geomorfologie generală* publicată în 2006 de Valeria Velcea şi Marioara Costea: *lunci bilaterale, monolaterale, lunci comune pentru două artere hidrografice, lunci de confluenţă, lunci de meandru*.



Albia minoră şi majoră în relaţia cu variaţiile de nivel (Levin H., 1990):
a. înainte de inundaţie (nivel normal); b. în timpul inundaţiei; c. după inundaţie

Morfologia acesteia poate fi deosebit de complexă, asociindu-se formele pozitive cu cele negative.: *grinduri, renii*, *ostroave*, *microdepresiuni* (braţe şi meandre părăsite, mlaştini, bălţi, lacuri).

În cercetările de hidraulică şi hidrodinamică sunt necesare o serie de determinări care privesc geometria albiei râurilor. Aceste elemente sunt deosebit de utile şi geomorfologului care studiază dinamica fluvială. Este vorba de:

- *secţiunea transversală a albiei (calibrul albiei)*, adică suprafaţa secţiunii transversale;

- *forma secţiunii transversale*, care poate lua diferite modele simple (triunghiulară, rectangulară, trapezoidală, semicirculară) sau complexe;

- *secţiunea transversală a apei râului*, adică suprafaţa secţiunii transversale a cursului de apă; este variabilă în funcţie de nivelul apei (secţiune *activă* la un nivel oarecare, secţiune

la nivelul mediu, minim şi maxim); măsurătorile de viteză permit punerea în evidență a mişcării apei;

- *perimetrul udat* (se măsoară până la oglinda apei);

- *adâncimea şi lățimea;*

- *panta;*

- *coeficientul de formă*, un element al geometriei albiei care exprimă raportul dintre adâncime şi lățime;

- *raza hidraulică*, adică forma secțiunii transversale a albiei, este parametru definit ca raport dintre suprafața secțiunii şi perimetrul udat ($R = \frac{A}{P}$), unde *R* - raza hidraulică, *A* - suprafața secțiunii, P - perimetrul udat;

- *linia axială a albiei* (axa fundului albiei, respectiv talvegul);

- *axa dinamică a apei* (curentul apei râului); în general, cele două axe coincid.

Variabilele geometrice ale secțiunii transversale ale albiei se reglează, se ajustează în funcție de debit. Se cunoaşte că debitul are rolul principal de dimensionare a albiilor.

În sistemul cibernetic fluvial (relația de interfață curgere - cinematică - modelare), respectiv sistemul acțiune - retroacțiune, trebuie incluse două seturi de elemente: setul geometriei hidraulice (lățimea cursului, adâncimea cursului, perimetrul udat, raza hidraulică, panta albiei) şi setul vitezelor apei (panta albiei, raza hidraulică, rugozitatea albiei, debitul, calibrul patului).

Dintre parametrii de ordin morfografic trebuie considerați în cercetările de teren legate de hidraulica şi modelarea albiilor:

- *rugozitatea patului albiei*

- *coeficientul de meandrare*

- *coeficientul de ramificare (de despletire)*

Rugozitatea reprezintă totalitatea asperităților pe care le prezintă patul albiei. Aceasta poate fi dată atât de roca in-situ, cât şi de aluviuni. Rugozitatea influențează scurgerea apei şi procesul de eroziune, transport şi acumulare în lungul albiilor de râu. O rugozitate mare provoacă o frecare mai mare a apei în albia sa şi, în consecință, este de natură să reducă viteza de scurgere, să producă perturbații în scurgerea apei şi în dinamica proceselor fluviatile.

Coeficientul de meandrare sau coeficientul de sinuozitate (K_s) este raportul dintre lungimea în linie dreaptă şi lungimea reală a unui sector de râu.

$$K_s = \frac{L}{D},$$

unde L - lungimea reală (sinuoasă), iar D - lungimea în linie dreaptă.

Coeficientul de ramificare sau *coeficientul de despletire* este raportul dintre suma tuturor brațelor secundare ale râului cu brațul principal şi brațul principal pe un sector determinat.

$K_{ds} = \frac{b_1 + b_2 + ... + b_n + B_p}{B_p}$, unde b_1, b_2, ..., b_n reprezintă brațele secundare, iar Bp - brațul principal.

3. DINAMICA APEI ÎN ALBII

Pentru înțelegerea morfologiei şi morfodinamicii albiilor de râu sunt necesare cunoştințe minimale de hidodinamica, de dinamica a apei în albii (hidraulica râurilor). De aceea, în acest capitol avem în vedere să aducem în atenție unele probleme şi noțiuni privitoare la:

- Energia potențială şi energia cinetică a râurilor;
- Forțele care acționează asupra apei în albii;
- Hidraulica râurilor (dinamica apei în albii):
    - formele de curgere a apei în albii;
    - curenții din apa râurilor;
    - viteza şi debitul;
- Modul cum este consumată energia râurilor în albii.

3.1. Energii şi forțe care condiționează dinamica apei în albii

Apa dezvoltă o energie potențială[5] prin mişcarea ei liberă în albie în raport cu un plan de referință, care, în cazul râurilor, este nivelul de bază (general: 0 m; regional, local). În curentul de apă, energia potențială este transformată în energie cinetică[6] conform celui de al doilea principiu al termodinamicii. Aceasta este utilizată în primul rând pentru învingerea forței de frecare dată de vâscozitatea apei. Energia disponibilă care rezultă este utilizată pentru transportul materialelor (transport de fund şi în suspensie) şi pentru modelarea albiei.

Cantitatea de energie cinetică disponibilă diferă în raport cu masa de apă, cu viteza apei, cu particularitățile substratului în care este sculptată albia (natura rocilor, rugozitatea patului şi a malurilor).

Dinamica apei în albii se cercetează pe baza teoriilor de mecanică a fluidelor, pornind de la proprietatea apei de a fi un lichid vâscos. Aceasta este condiționată, aşa cum arată Mac I. (1986), în factori intrinseci (debit lichid şi solid, viteză) şi factori extrinseci (de condiție - rezistența rocilor, obstacole etc.; de presiune - aporturi suplimentare de apă prin intermediul tributarilor, îndiguirea albiilor etc.). Felul cum se asociază aceste condiții se concretizează

[5] *Energia potențială* (în raport cu un nivel de referință) - energia pe care un corp o poate dezvolta prin mişcarea sa liberă din poziția în care se află până la nivelul de referință.
[6] *Energia cinetică* - energia mecanică a unui corp în mişcare egală cu jumătatea produsului dintre masa corpului şi pătratul vitezei sale (mv^2)/2.

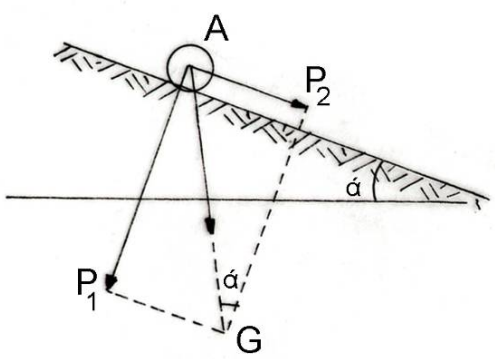
într-o anumită hidrodinamică de albie şi într-o anumită dinamică a proceselor de albie, într-un anumit model de albie.

Partea de energie utilizabilă în vederea activității morfogenetice nu reprezintă decât o foarte mică parte a energiei totale, fie suma energiei potențiale corespunzând la atracția gravitațională asupra masei de apă şi a energiei cinetice (Coque R., 2006).

Energia furnizată de către masa de apă în mişcare este proporțională cu debitul şi cu pătratul vitezei.

În albia râurilor se produc o serie de fenomene dinamice (curenți, variații de viteze, de niveluri etc.) a căror instabilitate este legată de regimul râurilor şi elementele morfologice ale albiei. La originea acestor procese se află forțele care acționează asupra masei de apă în curgere prin albii: *forța gravitațională*[7]*, forța lui Coriolis*[8]*, forța centrifugă*[9].

- *Forța gravitațională*. Gravitația este principala forță care determină mişcarea apei în râuri. Apa, fluid vâscos, curge după exercitarea unui efort de solicitare. Forța care propulsează apa pe pante este gravitația. Forța gravitațională (a unei picături de apă) se descompune în două componente – componente ale forței de deplasare: una paralelă cu (direcția) planul înclinat, alta perpendiculară pe direcția planului înclinat. Mişcarea apei în râuri este rezultatul lucrului mecanic generat de forța gravitațională asupra masei de apă care se deplasează din punctele cu cotă superioară spre cele cu cotă inferioară. Forța de deplasare pe planul înclinat (P_2) se consumă pentru învingerea aderenței care se naşte între moleculele de apă şi suprafața planului înclinat, ca şi datorită adeziunii dintre moleculele din masa apei.



Influența gravitației asupra mişcării unei particule de apă pe o pantă dată (Mac I., 1986):
A – particula de apă; G – forța gravitațională; P_1, P_2 – componente ale forței de deplasare (P_1 – perpendiculara pe direcția planului înclinat; P_2 – paralela cu planul înclinat); ά -unghiul de panta

[7] *Gravitația terestră* - atracția exercitată de centrul Pământului.
[8] *Forța lui Coriolis* - forța de deviere datorată mişcării de rotație a Pământului.
[9] *Forța centrifugă* - forța de îndepărtare de un centru - centrul Pământului.

- *Forța lui Coriolis.* Masele de apă din albiile râurilor, în mişcarea lor, suferă influența mişcării de rotație a Pământului care provoacă forța lui Coriolis. Forța lui Coriolis acționează perpendicular pe direcția mişcării apei în râuri, determinând abaterea apei în emisfera nordică spre dreapta, iar în emisfera sudică spre stânga. Acțiunea forței lui Coriolis se manifestă prin modificarea pantei secțiunii transversale a albiilor, din care cauză se exercită o presiune mare asupra malului drept al râului, de unde şi o eroziune mai intensă asupra malului respectiv (invers în emisfera sudică). De aceea, se observă că, în majoritatea cazurilor, râurile din emisfera nordică au malul drept mai înalt şi, în acelaşi timp, direcția generală de curgere este spre dreapta (invers în emisfera sudică).

- *Forța centrifugă* este bine evidențiată în sectoarele concave ale meandrelor. Datorită acestei forțe, oglinda apei râului, în secțiune transversală, se ridică spre malul concav sub un unghi *α,* cu o anumită înălțime (H), care poate fi determinată.

Forțele de gravitație, Coriolis şi centrifugă acționează concomitent, provocând astfel o eroziune puternică la concavitățile malurilor.

Curgerea apei în albii este influențată şi de vâscozitate, dar şi de presiunea apei. Vâscozitatea exprimă coeziunea dintre particulele (moleculele) masei de apă. Valoarea ei scade cu cât temperatura creşte. De asemenea, vâscozitatea este proporțională cu pătratul vitezei. Apa curgătoare este cel mai răspândit fluid vâscos cu acțiune modelatoare asupra reliefului. Fluidele vâscoase se deformează continuu prin exercitarea forțelor de solicitare, iar rata deformării este proporțională cu forțele care acționează. Raportul dintre rata de deformare şi forța de deformare (stres) este vâscozitatea (Mac I., 1986). Valoarea scade cu cât temperatura creşte.

În legătură cu presiunea, se ştie că fluidele exercită presiuni statice şi dinamice. Presiunea dinamică rezultă din mişcarea apei. Ea reprezintă energia cinetică posedată de mişcarea apei, fiind egală cu $mv^2/2$.

3.2. Formele de mişcare (curgere) a apei în albii

În albii (şi nu numai în albii), apa are două feluri de mişcări (curgeri):

a) mişcare laminară

b) mişcare turbulentă (turbionară)

Mişcarea laminară este o mişcare uniformă, liniştită şi constă în deplasarea paralelă a curenților de apă (în lamele paralele), în întreaga masă de apă, cu o viteză maximă la

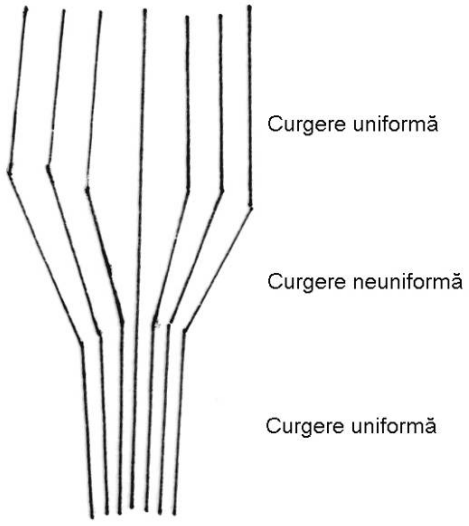
suprafață şi o viteză din ce în ce mai mică la fund. Este caracteristică curgerii cu viteze şi debite mici în canale (albii) rectilinii, uniforme şi stabile, dar care sunt atât de rare.

Mişcarea turbulentă. Pe măsura creşterii vitezelor şi debitelor, mişcarea laminară devine din ce în ce mai instabilă şi se transformă în mişcare turbulentă. Este o mişcare dezordonată. Şuviţele de apă încep să descrie traiectorii în formă de turbioane. Unele cu axe verticale, care se deplasează în avale, altele staţionare, în funcţie de configuraţia patului. Viteza la care are loc această transformare se numeşte *viteză critică*.Ca urmare, mişcarea turbulentă determină amestecul masei de apă pe măsura creşterii vitezei (se omogenizează proprietăţile fizice şi chimice).

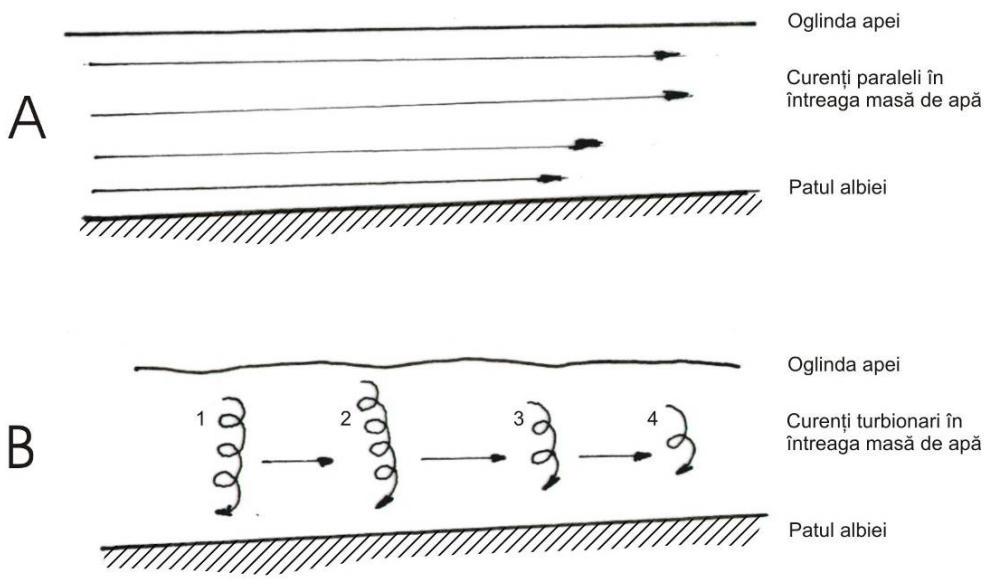
Turbulenţa apei este dată de multiple mişcări pe verticală. În cazul mişcării turbulente, schimbarea valorilor vitezei şi a direcţiei vectorului vitezei dă naştere vârtejurilor (turbioanelor). Ion Mac (1986) observa *că diferenţele de viteză la contact cu malul şi în axa patului dezvoltă vârtejuri cu axa verticală şi, adesea, cu giraţie urcând spre amunte de-a lungul malului (pag.109)*.

Turbionul este, deci, deplasarea apei sub formă de vârtej în jurul unei axe verticale sau uşor oblice. Turbioanele pot fi *staţionare* (ochiuri) sau se deplasează în sensul general de curgere a râului.

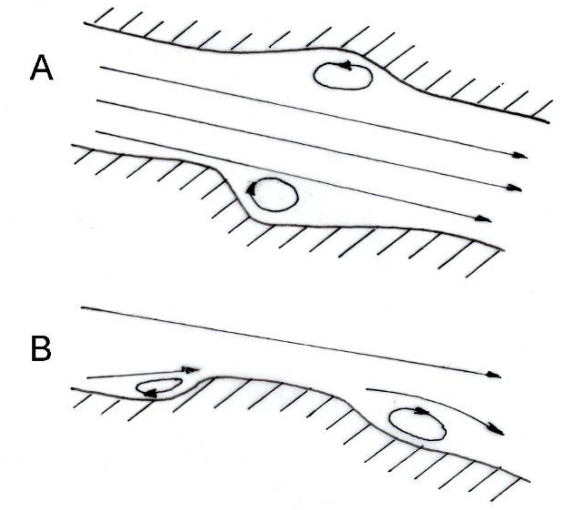
Trebuie precizat că mişcarea (curgerea) apei în albii este în mod obişnuit turbulentă, ca urmare a îndeplinirii cvasigenerale de către albiile de râu a condiţiilor pentru acest tip de mişcare.



Diagramă redând tipuri de curgere a apei într-o albie de râu (Embleton C., Thornes J., 1979)



Tipuri de curgere a apelor în albii (secțiuni longitudinale): A. curgere laminară; B. curgere turbulentă – 1. turbion staționar; 2, 3, 4. turbioane în deplasare, cu diminuarea şi dispariția progresivă (Embleton C.,Thornes J.,1979)



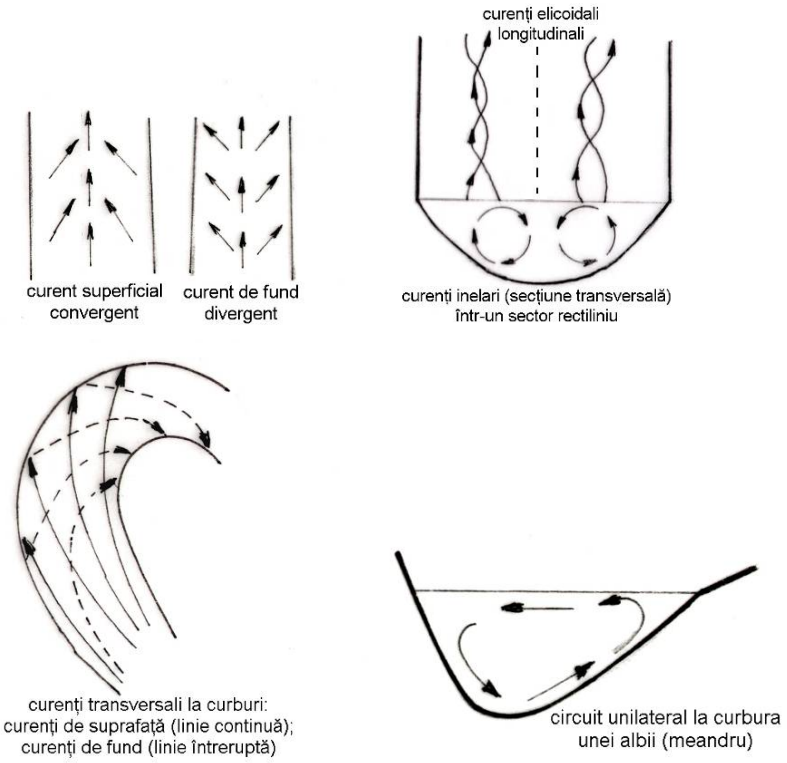
Separarea curgerii laminare de curgerea turbulentă în albiile de râu generate de modificările în configurația malurilor (A, secțiune în plan orizontal) şi a patului albiei (B, secțiune în plan vertical) (Embleton C., Thornes J., 1979,dupa Allen,1970)

3.3. Curenții din apa râurilor

În albiile râurilor se dezvoltă curenți circulari. În secțiune transversală, aceştia au o ramură ascendentă (*curent superficial convergent*) şi o ramură descendentă (*curent de fund divergent*).

Curentul superficial convergent se formează datorită vitezei mai mari a masei de apă din zona centrală (*axa dinamică a albiei*), care atrage după sine apa de la margini, formând spre suprafață o coamă mai ridicată față de nivelul restului secțiunii active (*creasta râului*).

În porțiunile rectilinii ale râului se separă în două circuite ce converg spre suprafață şi diverg spre profunzime. La curburile râurilor, acolo unde talvegul se apropie de malul concav, se produce o afluență unilaterală de apă, iar cele două circuite se transformă într-un circuit unilateral.



Repartitia curentilor in albiile de rau : în sectoare de albii rectilinii (sus – Embleton C.,Thornes J.,1979) şi în sectoare de curbură (jos – Mac I.,1986,dupa S.Hincu,1976)

În sens longitudinal, din cauza mişcării de translație a apei, curenții circulari se manifestă sub forma unor *curenți elicoidali* (*curenți longitudinali*).

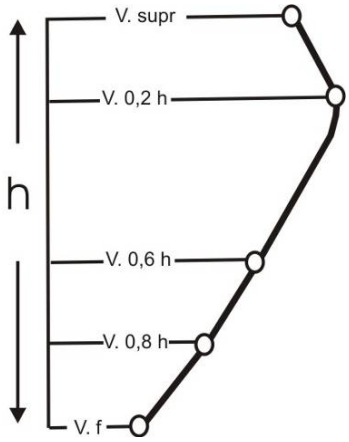
În profil transversal, la un sector de curbură (meandru), curenții de fund se caracterizează prin viteze maxime lângă malul concav şi viteze reduse la malul convex. Curenții de apă superficiali, lăsându-se în jos, erodează malul concav şi antrenează particulele (aluviunile) spre malul convex, unde se depun datorită vitezei mai reduse.

3.4. Viteza şi debitul apei în albii

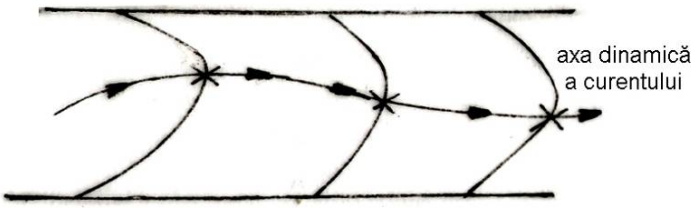
a) Viteza apei

După cum se ştie, apa râurilor se mişcă în albii sub influenţa forţei gravitaţionale. Viteza cursului de apă este în funcţie de corelaţia ce există între componenta forţei gravitaţionale (paralelă cu linia pantei) şi forţele de rezistenţă care se nasc prin frecarea apei cu albia. Componenta forţei gravitaţionale depinde de panta albiei, iar rezistenţa depinde de gradul de vâscozitate al apei. Dacă forţa de rezistenţă este inferioară forţei gravitaţionale, viteza curentului creşte, şi invers. Datorită forţei de rezistenţă şi în funcţie de variaţia pantei, apa în râuri nu se va mişca niciodată cu o acceleraţie progresivă.

Se constată o repartizare variată a vitezelor instantanee în diferitele puncte ale secţiunii active a albiei. Cu toate acestea, se pot stabili anumite legi în repartizarea vitezelor, atât pe verticală, cât şi pe orizontală.



Repartiţia vitezelor pe verticală într-o secţiune transversală activă (epura vitezelor): h – adâncimea apei în 5 puncte standard pentru măsurarea vitezei: suprafaţa apei; 0,2 din adâncime; 0,6; 0,8; la fund



Repartiţia vitezelor pe orizontală în stratul de suprafaţă al apei (Embleton C.,Thornes J.,1979)

Repartiţia vitezelor în secţiunea transversală a diferitelor tipuri geometrice de albii (reprezentare cu ajutorul izotahelor): a – albie triunghiulară; b – albie rectangulară; c – albie trapezoidală; d – albie semicirculară; e – albie neregulată (Embleton C.,Thornes J.,1979)

Viteza se măsoară cu morişca hidrometrică sau cu un plutitor şi se exprimă în m/s. Reprezentarea valorilor vitezei constituie epura vitezelor sau hidrograful vitezelor. Viteza maximă este observată în apropiere de suprafaţă, de aici scade treptat spre fund, unde atinge

valori minime. Epura vitezelor prezintă abateri de la forma normală datorită geometriei şi rugozității, date, la rândul lor, de condițiile locale.

b) Debitul râurilor

Debitul râurilor este cantitatea de apă ce curge într-o unitate de timp prin secțiunea activă a râului. Se exprimă în m^3/s sau în l/s. Debitul se calculează printr-o formulă caracteristică - *formula de debit*. Aceasta se exprima prin produsul dintre trei variabile: lățimea albiei *(B)*, adâncimea medie a albiei *(H)* şi viteza medie *(V)*, încât Q (m^3/s) = $B \cdot M \cdot H$. Este o formulă prin care se pot observa relațiile de ajustare dintre variabilele implicate.

Pentru latura aplicată a geomorfologiei fluviale sunt de mare însemnătate nu numai manifestările medii ale scurgerii şi ale proceselor de modelare a albiei, ci şi ritmurile şi extremele acestora. De exemplu, râurile, la viituri, erodează mult mai puternic şi transportă mai multe materiale decât în perioadele scurgerii normale. De asemenea, viiturile amplifică gradul de risc pentru aşezări, infrastructură şi terenuri agricole.

3.5. Modul cum este utilizată şi consumată energia apei în albii

În legătură cu energia râurilor, trebuie să diferențiem din *energia totală* acea parte numită *energie netă*, care este, de fapt, energia disponibilă a acestui agent modelator.

Debitul râului şi panta albiei fac ca *masa de apă în deplasare sub impulsul gravitației să dispună în orice loc din lungul albiei şi în orice moment de o anumită energie mecanică, care se consumă prin manifestarea unor procese specifice* (Ielenicz M.2004, pag.113).

Se cunoaşte că o parte relativ redusă din energia râurilor este folosită în eroziunea albiei.

Energia cinetică dezvoltată de curgerea apei în albii (energia fluidului) se consumă în parte prin frecarea fluidului cu albia, respectiv cu patul *(frecare verticală*) şi cu malurile (*frecare laterală*) (cu patul, cu malurile). Aceasta se transmite sub forma unei forțe de smulgere, numită în mecanică *forță de forfecare* şi care poate pune în mişcare particulele (fragmentele) dislocate.

Energia cinetică creşte odată cu trecerea de la mişcarea laminară la mişcarea turbionară.

Cea mai mare parte a energiei apei în albii este utilizată (şi consumată) pentru transportul materialelor (transportul mecanic, transportul chimic).

4. MODELAREA ŞI DINAMICA ALBIILOR FLUVIALE

4.1. Eroziunea fluvială. Procesele fluviale şi formele de relief generate

Apele curgătoare reprezintă cel mai important agent modelator al reliefului scoarței terestre. Ne referim la rolul sculptural principal pe care îl au pentru cea mai mare parte a uscaturilor Terrei. Albiile şi văile fluviale în ansamblu constituie rezultatul acestei acțiuni.

Eroziunea fluvială se manifestă prin procese şi mecanisme variate. Fiecare comportă aspecte foarte diferite în funcție de variabilele (elemente, factori, forțe) care participă la interacțiunea apei cu substratul. De aceea şi marea diversitate de albii fluviale, de văi fluviale şi interfluvii, de configurații morfologice pe care le iau regiunile modelate dominant de către râuri.

Eroziunea fluvială, ca acțiune modelatoare complexă, se manifestă prin trei procese: *eroziune (eroziune propriu-zisă), transport* şi *acumulare*. Sunt procese cu multiple interdependente.

a) *Eroziunea propriu-zisă*, proces principal în eroziunea fluvială, modelează patul (albia, în general) prin trei acțiuni (mecanisme*): coraziune*, *acțiune hidraulică* şi *coroziune*.

Coraziunea (abraziunea), mecanism specific în albiile cu pat rezistent (albii de eroziune), este „uzura" exterioară a substratului în care este încastrat canalul de curgere (patul, albia). Procesul acesta are loc prin polizare (şlefuire), striere şi excavare, acțiuni efectuate de către apa încărcată cu material în suspensie şi în principal de către aluviunile târâte (bolovănişuri, pietrişuri, nisipuri). Se produce astfel netezirea patului prin aşa-numita *forță de curățire*. Mărimea, forma, compoziția şi cantitatea materialelor influențează puterea de coraziune. Forța de curățire a patului albiei, depinde de: diametrul particulei, densitatea fluidului, viteza fluidului la nivelul particulei, coeficientul de dragare, coeziunea aluviunilor. Coraziunea devine foarte eficientă în perioadele de ape mari.

Prin coraziune, în patul dur al albiei apar striuri (striaj longitudinal), caneluri, forme rotunjite (pozitive şi negative).

Acțiunea hidraulică este lucrul mecanic efectuat de apa în curgere. Prin forța motrice a apei în curgere sunt desprinse particule/fragmente din substrat. Cel mai important proces este *cavitația*, care are loc acolo unde se schimbă brusc presiunea apei, fie la accelerarea, fie la reducerea vitezei. Creşterea vitezei duce la diminuarea presiunii şi invers, apare ca rezultat al

schimbării bruşte în presiunea apei la accelerarea sau încetinirea vitezei. Orice sporire de viteză trebuie să ducă la o reducere a presiunii.

Prin acțiune hidraulică sunt smulse fragmente de roci din patul albiei şi din maluri, rezultând cavități. Acesta este procesul de *eroziune în adâncime* prin subsăpare (*subsăparea*).

Coroziunea este un proces de descompunere chimică care implică reacția dintre apă şi constituenții mineralelor şi ai rocilor din substrat. Agresivitatea chimică a apei este influențată nu numai de compoziția dată de precipitații, dar şi de elementele pe care le încorporează pe parcurs în soluție. Alterarea chimică a rocilor din albia râurilor favorizează activitatea de coraziune şi acțiunea hidraulică.

Eroziunea exercitată de apele curgătoare este concentrată liniar, de unde termenul de *eroziune liniară*. Aceasta se desfăşoară atât vertical (*eroziunea în adâncime*), cât şi orizontal *(eroziunea laterală*). Eroziunea în adâncime se propagă din avale în amunte, ceea ce justifică denumirea de *eroziune regresivă*. Acest mecanism şi acest mod de propagare a eroziunii verticale conduce, în timp îndelungat, la elaborarea, la perfectarea *profilului de echilibru dinamic* al albiilor de râu. Este necesar sa atragem atenția că eroziunea în adâncime se desfăşoară sub comanda *nivelului de bază* (local şi a celui general/ultim/final), numit şi *baza de eroziune*. Nivelul de baza este cea mai joasa limita a eroziunii fluviale dintr-un loc dat si la scara planetara. *Nivelul de baza local* poate fi orice ruptura de panta din profilul longitudinal al albiei ,dar mai importanta este altitudinea (elevația) gurii de vărsare a râului. *Nivelul de baza general* (*ultim, absolut*) este nivelul marii (0 m). Sub nivelul de bază, râul nu mai poate exercita procesul de eroziune în adâncime (*eroziune verticala*). Este limita de unde se trece de la *degradare* (în sensul de eroziune) la *agradare* (în sensul de acumulare).

Stabilitatea relativa în timp îndelungat a nivelului de bază reprezintă o condiție a realizării profilului longitudinal de echilibru al albiilor. Pe măsura apropierii de profilul de echilibru dinamic (sectorial sau integral), râul va trece de la eroziunea în adâncime la eroziunea laterala şi la acumulare. Albia şi valea fluvială se vor dezvolta în plan orizontal, rezultând forme specifice: albii majore tot mai largi, albii meandrate, albii ramificate si anastomozate.

Resuscitarea eroziunii în adâncime este posibilă numai prin creşterea pantei profilului de echilibru existent într-o perioadă anumită (echilibru temporar, echilibru dinamic), sectorial sau integral, datorită mişcărilor tectonice (pozitive şi negative) şi mişcărilor eustatice negativ (regresiuni marine), care determină coborârea nivelului de bază local sau general.

Alternarea etapelor de eroziune în adâncime cu cele de eroziune laterala şi aluvionare a generat suita de terase fluviale de vârstă cuaternară. Această alternanță este consecința

variațiilor climatice (faze glaciare şi faze interglaciare) şi eustatice, dar şi a condițiilor neotectonice specifice acestei perioade (faze de intensificare şi faze de calm tectonic relativ).

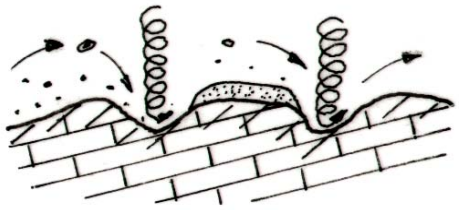
Eroziunea în adâncime are loc prin:

- sfredelire, mecanism datorat curgerii turbionare;
- subsăpare (eroziunea la baza pragurilor);
- transportul aluviunilor, adică prin coraziune şi striaj longitudinal.

Curgerea turbionară, fiind în spirală, creează o eroziune prin sfredelire; de câte ori o spiră atinge fundul albiei se produce o eroziune în locul respectiv.

Curgerea turbionară duce la eroziunea fundului atunci când unul din capetele axei turbionului (turbion cu ax vertical) atinge roca din pat. Eroziunea se deplasează odată cu turbionul.

Când turbioanele stau pe loc o perioadă mai îndelungată (ochiuri), fixate de existența unor praguri, ele excavează printr-o mişcare giratorie cavități adânci şi rotunde, numite *marmite* sau *„oale ale giganților”*. Vârtejurile antrenează şi pietriş cu care şlefuiesc pereții şi fundul excavațiunii.

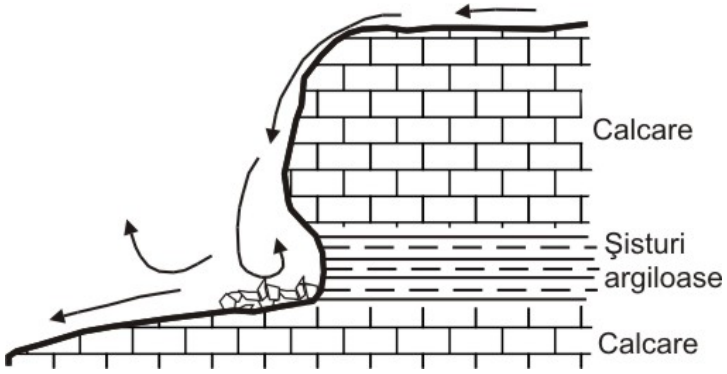


Eroziunea în adâncime prin sfredelire generată de curenții turbionari

Marmitele se formează în roci dure, mai ales în calcare (ex.: în Defileul Dunării – Cazanele Mari, Cazanele Mici). Prin lărgirea diametrului, ele se pot îngemăna, creând, în ultimă instanță, un jgheab pe fundul albiei.

Eroziune prin forța de smulgere (forța de forfecare) a apei în curgere se numeşte *eroziune prin subsăpare*. Avem exemplul intensificării eroziunii la orice fracționare mai importantă a talvegului albiei, dar mai ales la praguri şi cascade. Prin acest proces se formează cavități (firide) la baza accidentelor respective, ceea ce generează prăbuşiri de blocuri, retragerea (regresiunea) şi diminuarea denivelărilor din profilul longitudinal al albiilor de râu. Acesta este mecanismul eroziunii regresive şi al proceselor asociate. În acelaşi timp, este

fenomenul cavitației, adică al formării excavațiilor în patul albiilor prin lucrul mecanic efectuat de apa de curgere împreună cu materialele transportate. Fenomenul despre care vorbim are implicații negative asupra lucrărilor hidrotehnice (baraje, praguri, poduri, epiuri, diguri), subminându-le stabilitatea, integritatea şi, deci, funcționalitatea.



Eroziune în adâncime prin subsăpare generată de acțiunea hidraulică şi de materialele dislocate

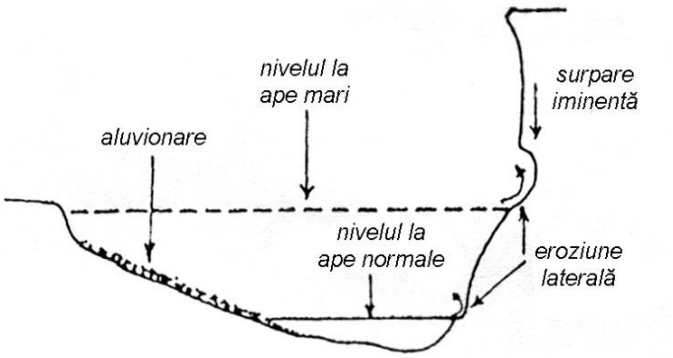
Eroziunea datorată transportului materialelor târâte (tractate) pe fund are loc sub acțiunea striajului longitudinal, o formă de eroziune care constă din zgârierea (strierea) rocilor dure din patul albiei în sensul de curgere a apei şi prin coraziune (netezirea şi rotunjirea proeminențelor din substratul albiei (este, aşa cum am mai spus, procesul de curățare a albiei).

Eroziunea laterală are loc prin următoarele mecanisme:

- prin forța de smulgere (forfecare), numită şi subsăpare (subsăparea malurilor);
- prin girație contrară la maluri.

Prin subsăpare se formează firide la baza malurilor ori la baza frunților de terasă şi a versanților (când albia minoră se află în contact cu aceste elemente morfologice), iar prin girație rezultă marmite (de mal sau la baza versanților), ca în sectoarele de chei, cum sunt cele de pe Valea Cernei.

Eroziunea laterală se manifestă mai puternic în albiile sinuoase, meandrate, la malurile lor concave.



Eroziunea laterală este mai intensă la malul concav al meandrelor şi în perioada apelor mari

b) Transportul aluviunilor

În dinamica albiilor, transportul joacă un rol la fel de important ca eroziunea şi acumularea.

Cunoaşterea modalităţilor de transport fluvial serveşte la înţelegerea genezei formelor de eroziune şi a celor de acumulare din albiile fluviale, precum şi la explicarea cinematicii formelor din sistemul albiilor, lucru deosebit de important pentru construcţiile inginereşti existente sau planificate a fi amplasate.

Mişcarea materialelor din albii este rezultatul presiunii exercitate de apa curgătoare asupra patului aluvial. Două variabile sunt fundamentale în activitatea de transport viteza de curgere şi materialul albiei. Mai exact, trebuie apreciate viteza critică (viteza la care curgerea laminară se transformă în curgere turbulentă), forma, dimensiunea şi coeziunea materialelor din albii. Relaţiile dintre aceste variabile sunt complexe.

Transportul în cadrul albiilor se realizează sub două forme: fizic (mecanic) şi chimic.

- *Transportul mecanic* poate fi: *transport de fund* (debitul solid târât) şi *transport în suspensie* (debitul solid în suspensie).

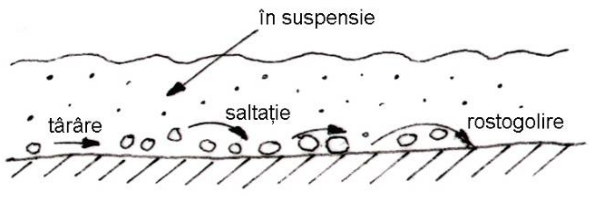
Cercetările au relevat că există o condiţie limită pentru ca particulele din aluviuni sa înceapă a se deplasa. Această condiţie corespunde presiunii critice sau forţei tractive critice exercitată de apă asupra albiei (deci valoarea minimă a forţei tractive) (Mac I.,1986).

Transportul de fund,pe patul albiei, se realizează prin *târâre* (*tracţiune*), *rostogolire* şi *saltare* (*saltaţie*). Astfel sunt mobilizate acele materiale care staţionează un timp pe patul albiei. Acest tip de transport este cel mai important pentru eroziunea râurilor.

În timpul transportului, o parte a energiei cinetice dezvoltate de ape serveşte la fasonarea constituenţilor încărcăturii. Rezultă uzura fragmentelor ce compun aluviunile. Aceasta este una din cauzele diminuării calibrului lor spre aval.

Volumul de aluviuni transportate poate fi evaluat printr-o serie de formule bazate pe *teoria antrenării aluviunilor de către curent (forţă critică, viteză critică sau debit critic de antrenare),* ori pe *teoria statistică a mişcării aluviunilor* (Mac I., 1986).

Transportul în suspensie se produce continuu şi într-un volum mult mai mare decât transportul de fund. Calculul debitului în suspensie se bazează în mod obişnuit pe *ecuaţia difuziunii sedimentelor*.



Tipuri de transport a aluviunilor într-o albie de râu

Mişcarea sub formă de turbion orientat în sus susține în suspensie particulele de mici dimensiuni, care au tendința de sedimentare datorită forței gravitaționale. În suspensie sunt transportate îndeosebi particulele coloidale (suspensie coloidală) şi nisipuri mai grele ca apa (suspensie turbionară).

În legătură cu transportul de aluviuni există o serie de noțiuni specifice deosebit de importante pentru studiile de geomorfologie a albiilor: *debit total*, *debit solid târât, debit solid în suspensie, debit critic de antrenare, forță tractivă critică (efortul critic de antrenare), viteză critică de antrenare, capacitate de transport, competență, turbiditate.*

Relațiile care determină începutul mişcării aluviunilor, bazat pe efortul critic de antrenare, implică greutatea specifică a aluviunilor, greutatea specifică a apei, diametrul aluviunilor, coeficientul de vâscozitate cinematică, viteza curentului.

Viteza critică de antrenare a aluviunilor depinde de: diametrul aluviunilor, adâncimea curentului, pulsația vitezei curentului, forma particulei de aluviuni, apariția forței de coeziune între particule datorită cinematicii acestora ca substanțe coloidale etc.

Cercetările de laborator au determinat forța tractivă critică şi viteza critică de eroziune (viteze minime care inițiază procesele). S-a calculat că cel mai uşor material deplasabil are un diametru de 0,25 mm şi este pus în mişcare de apa care curge cu o viteza de 0,2 m/s.

Capacitatea de transport a râului este cantitatea totală de aluviuni ce poate fi transportată de un râu în unitatea de timp, exprimată prin greutate (tone/an).

Competența reprezintă forța de care poate dispune un agent geomorfologic (râu, valuri, ghețari, vânturi) exprimată prin diametrul şi greutatea maximă a unui fragment de rocă dură pe care îl poate rula pe fund la un moment dat. Aceasta depinde de panta şi de viteza curentului pe fundul albiei. Este competența de a lua în transport.

Debitul total este cantitatea de materiale solide (aluviuni) transportate de un curs de apă, în suspensie, prin târâre sau rostogolire, precum şi cantitatea materialelor dizolvate şi transportate în soluție care trec, într-o secundă, prin secțiunea transversală a cursului respectiv (g/s; kg/s; t/zi). Totalitatea materialelor solide transportate reprezintă *debitul solid, sarcina sau încărcătura râului.*

Debitul solid în suspensie este conținutul în suspensie al apei unui râu. Este *turbiditatea* apei. Se exprimă în g/m^3 sau kg/m^3.

Deosebit de importantă este problema bugetului de aluviuni al bazinului hidrografic. Specialiştii în domeniu consideră că generarea de aluviuni întru-un bazin hidrografic este procesul geomorfologic fundamental pentru înțelegerea evoluției reliefului la diferite scări de

timp, dar şi pentru numeroase scopuri practice (cunoaşterea ratei de eroziune a terenurilor fertile, calcularea timpului de viață a lacurilor de baraj, poziționarea prizelor de apă etc.) (Radoane Maria et al., 2001; pag 86). Aceiaşi autori au alcătuit o schemă conceptuală a bugetului de aluviuni, care include: sursele de aluviuni din cadrul bazinului hidrografic, transportul de aluviuni dintr-un punct în altul al bazinului hidrografic, stocajele de aluviuni în conuri aluviale, albii majore etc., efluența aluviunilor. Expresia matematică a acestor procese este raportul de efluență a aluviunilor - SDR(%).

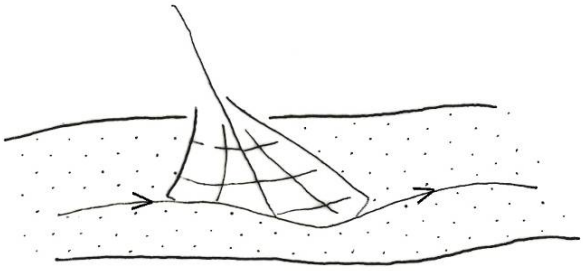
$$\text{SDR} = \frac{Q_s(t/km^2/an)}{E_v(t/km^2/an)} \times 1000$$, în care Q_s este volumul de aluviuni care trece prin secțiunea de închidere a bazinului hidrografic, iar E_v este producția de aluviuni a tuturor surselor din bazin(Maria Radoane et al.,2001).

- *Transportul chimic (in soluție)*. Apa reprezintă un dizolvant activ, influențat de temperatură, conținutul în gaze (oxigen, CO_2) şi în acizi proveniți pe cale biologică. Proprietățile chimice ale apei se modifică în funcție de condițiile mediului geografic. De regulă, apele curgătoare au caracter de soluții cu conținut calitativ şi cantitativ variabil după climă, rocă străbătută, schimbul cu mediul înconjurător etc. Din soluțiile respective precipită carbonații şi se formează travertinul (barajele de travertin), sărurile de fier care duc la formarea de cuirase pe fundurile albiilor (în zonele tropicale). Totodată, apa întreține procesul de alterare.

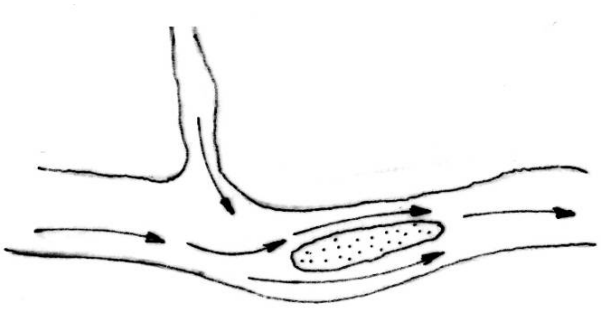
c) Acumularea

Creşterea cantității de materiale intrate în albie (prin eroziunea râului sau prin aport lateral-tributari, versanți) şi reducerea vitezei apei (din cauza scăderii pantei sau a obstacolelor) diminuează capacitatea de transport şi astfel începe procesul de acumulare (aluvionare). Încărcarea albiei cu aluviuni se produce selectiv pe profil longitudinal (amunte-avale), cu abateri locale provocate de tributar, de aportul de versant (deluvii de alunecare, de exemplu) sau de diferite lucrări hidrotehnice. Astfel, ca regulă generală, granulometria descreşte de la izvor la vărsare.

Acumularea aluviunilor se face fie în cadrul albiei, fie la gurile râurilor (la vărsare: confluențe, vărsări în lacuri, mări şi oceane, în depresiunile interioare endoreice – deşerturi).



Con aluvial format la o confluență



Ostrov format în avale de o confluență

În cadrul albiei, se poate delimita o aluvionare pe fundul albiei minore, în care domină materialele mai grosiere, şi o aluvionare în cadrul albiei majore, cu materiale fine, provenite din suspensie. Acumulările din albia minoră sunt într-o continuă transformare şi mişcare, ele având caracter de tranzit. Granulometria lor descreşte de la izvor spre vărsare. Confluențele şi aportul de versant schimbă local această regulă generală.

Acumulările din albia minoră alcătuiesc:

- *patul aluvial*, cu diferitele sale neregularități;

- *bancuri (bare)* submerse şi emerse, mobile în timp;

- *plaje fluviale;*

- *renii;*

- *ostroave* - bancuri consolidate care devin emerse (inundabile la apele mari).

- *insule aluvionare* - ostroave consolidate pe care se instalează vegetația şi se inițiază procesul de solificare.

Bancurile emerse şi ostroavele generează despletirea râurilor (se poate calcula, după cum am văzut, un coeficient de ramificare), cu modificări lente sau bruşte (la viituri), dar şi despletiri (difluențe) care se stabilizează în timp (difluențele brațului Chilia).

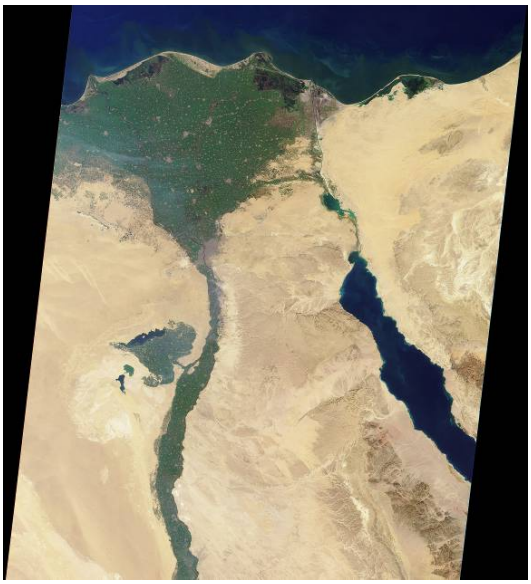
Acumulările în albia majoră se prezintă sub formă de bare de aluviuni paralele cu albia minoră (*grinduri fluviale*).

Acumulările la gurile râurilor pot lua mai multe forme:

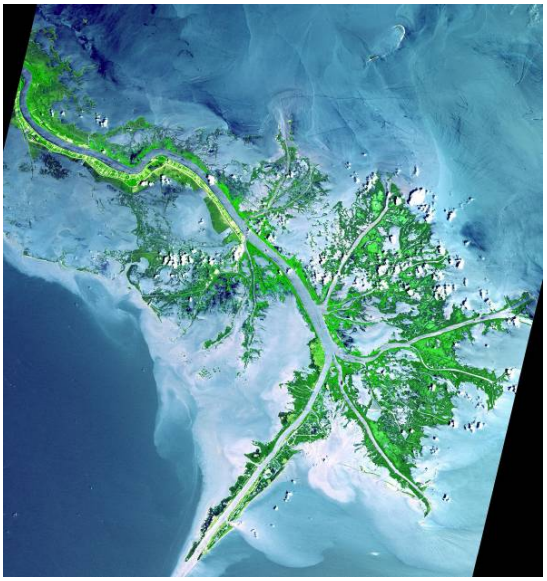
- *conuri aluviale* la deversarea tributarilor în râul colector (acumulări terminale). Acestea sunt etalate în albiile minore şi/sau majore ale colectorului, cu posibilitatea formării de ostroave în avale de confluenţe, acolo unde sporeşte încărcătura râului şi diminuează competenţa.

- *delte* (la vărsarea râurilor în lacuri, mari sau oceane) - formaţiuni acumulative atât de diferite ca geneză, dimensiuni, configuraţie, morfohidrografie, mediu, habitat, economie.

Delta Dunării (www.commons.wikimedia.org/wiki)



Delta Nilului (www.geschichteinchronologie.ch)



Delta Mississippi (www.commons.wikimedia.org/wiki)

Delta Gange (www.absoluteastronomy.com)

Imaginile satelitare pun în evidenţă diferite tipuri de formaţiuni deltaice

Acumulări aluviale se formează şi la reducerea bruscă a profilului longitudinal al râurilor (contactul munte-câmpie, deal-câmpie, munte-fund de depresiune), acolo unde

conurile de aluviuni, prin juxtapunere şi suprapunere, generează glacisuri aluviale, câmpii piemontane (Câmpia Piteştiului, Câmpia Târgovişte) sau piemonturi (Piemontul Getic, Piemontul Săcele).

4.2. Factorii de control ai morfologiei albiei fluviale

Albiile iau naştere şi evoluează prin interacțiunea dintre apă şi substrat sub comanda unui mare număr de factori (variabile), numiți factori de control. Altfel spus, albiile sunt rezultatul unui proces sistemic multivariabil.

Variabilele de control care intervin în morfodinamica şi morfologia albiilor pot fi grupate în două categorii:

a) Variabile independente:

- relieful
- litologia şi structura
- clima
- vegetația
- timpul

b) Variabile dependente:

- hidraulica curgerii
- debitul lichid şi cel solid
- dimensiunile albiei (lățimea, adâncimea, suprafața secțiunii transversale)
- panta
- nivelul de bază

Importanța (ponderea) variabilelor se poate schimba în timp pe ansamblul râului sau pe sectoare.

Albiile suferă modificări importante în timp (model, morfologie, dimensiuni, pantă) datorită schimbării condițiilor morfogenetice majore (climatice, de nivel de bază şi tectonice). Diferențierile locale şi regionale sunt generate de condițiile litologice, structurale şi tectonice, de condițiile geomorfologice şi climatice. Astfel de modificări în morfodinamica şi morfologia albiilor/văilor au avut loc în perioada cuaternară, când s-au produs schimbări climatice ciclice, care au atras alternanța fazelor glaciare şi interglaciare şi oscilații eustatice majore (transgresiuni şi regresiuni marine), cu modificarea alternativă a nivelului de bază general. De asemenea, s-au produs repetate mişcări tectonice, pozitive şi negative (mişcări neotectonice), care au generat ridicarea sau coborârea nivelului de bază regional sau local. Ca urmare, au alternat în timp procesele de eroziune în adâncime cu cele de eroziune laterală şi

de acumulare. Au alternat, de aceea, fazele de lărgire a patului albiei şi de acumulare a depozitelor aluviale (depozite de terasă, depozite de luncă) cu cele de adâncire a albiei şi de punere în relief a teraselor şi a luncilor. Aşadar, în cuaternar s-au format terasele, albiile majore (luncile) şi albiile minore actuale. Tot în această perioadă au avut loc remanieri hidrografice de amploare, cele care au dus la configuraţia de astăzi a reţelei de râuri.

Acelaşi lucru se întâmplă şi în urma modificărilor climatice, când eroziunea şi acumularea se pot succede ciclic, materializând trepte de relief climatice de tipul teraselor. Fenomenul este foarte bine ilustrat de prezenţa teraselor fluviale de natură climatică de pe râurile din România.

Râurile au totdeauna tendinţa de a-şi dimensiona caracteristicile morfometrice în funcţie de elementele hidraulice

Au fost formulate numeroase expresii empirice pentru indicarea relaţiei morfologiei albiei cu debitul apei şi debitul sedimentelor. Iată câteva relaţii şi expresii cantitative de control:

a) *Relaţia dintre debitul material al patului (Q_s), debitul mediu al apei (Q), media dimensiunii particulelor d* şi *pantă (S): $Q_s\, d \approx QS$*.

Se poate exprima şi astfel: controlul pantei de către debitul mediu al apei, debitul material al patului şi media dimensiunilor particulelor.

Înclinarea pantei este direct legată de debitul solid de fund şi dimensiunile particulelor şi invers corelată cu debitul apei:

$$S = \frac{Q_s d}{Q}$$

b) *Relaţia dintre lăţimea suprafeţei apei (b)* şi *adâncimea (d)*, pe de o parte, *şi debitul mediu anual (Q_m)* în direcţia de curgere (pentru multe râuri, lăţimea suprafeţei apei şi adâncimea se modifică cu debitul mediu anual în direcţia de curgere) → $b = kQ_m^{0,4}$. Este controlul lăţimii şi adâncimii albiei de către debit în sensul curgerii râurilor. Coeficienţii acestei relaţii se modifică de la râu la râu. Adică, pentru un debit dat, există o ordonare a parametrilor de lăţime şi adâncime.

Trebuie arătat că o alta variabilă care influenţează în mare măsură dimensiunile albiilor este debitul maxim sau debitul de vârf.

c) *Relaţia dintre încărcătura solidă a curentului şi morfologia albiei (controlul morfologiei albiei de către încărcătura solidă a curentului, a râului).*

Perimetrul udat al albiilor este dependent direct de debit, în timp ce forma albiei ar fi o reflectare a dimensiunii încărcăturii solide. Sedimentele grosiere generează o secţiune largă şi puţin adâncă, iar sedimentele fine impun o secţiune îngustă – adâncă.

Pe lângă dimensiunile particulelor, un rol însemnat joacă natura sedimentelor, rezistența acestora la procesele de albie.

d) *Relația dintre lățimea şi adâncimea albiei*, pe de o parte, şi *panta* şi *debitul de apă*, pe de altă parte. Este vorba de controlul lățimii şi adâncimii albiei de către panta şi debitul râului. Există o formulă de determinare a lățimii şi adâncimii în funcție de pantă şi debitul de apă.

În concluzie:

- Între cursul apei şi albia sa (patul său) se stabilesc strânse interacțiuni.

- În mod legic, râurile au tendința de a-şi dimensiona caracteristicile morfometrice ale albiilor în funcție de caracteristicile hidraulice. Ca atare, cu cât un râu are un debit mai mare, cu atât parametrii morfometrici ai albiei vor avea dimensiuni mai mari, pentru ca aceasta să asigure scurgerea eficientă a volumului de apă.

Acest proces de asigurare a echilibrului dintre caracteristicile morfometrice ale albiei şi cele hidraulice ale cursului de apă se desfăşoară în funcție de lucrul mecanic efectuat de râu la un moment dat. Interacțiunea dintre curs şi albie se concretizează prin procesele de eroziune, transport şi depunere. Calculat strict, lucrul mecanic efectuat de curent într-o secundă pe suprafața unui metru pătrat de pe fundul albiei este egal cu produsul dintre greutatea volumului de lichid aferent şi panta hidraulică (H = adâncimea medie; v = viteza; I = panta suprafeței apei; L = lucrul mecanic). Cu cât H, v şi I (atât în profil longitudinal, cât şi în profil transversal) vor fi mai mari, cu atât lucrul mecanic va avea o valoare mai ridicată, iar cursul de apă va putea transporta un volum mai mare de material şi cu un diametru sporit (Mac I.,1986).

L = $\gamma \cdot H \cdot v \cdot I$ (γ - *greutatea specifică a apei)*

4.3. Dinamica în plan orizontal a albiilor fluviale

4.3.1. Modele de albii

Dinamica albiilor fluviale este foarte complexă şi se diferențiază în funcție de tipul acestora. Clasificarea albiilor de râu poate urma mai multe criterii:

- după formațiunile în care sunt sculptate:
    - albii aluviale
    - albii în roca de bază (roca în loc)
    - albii mixte (adâncite în aluviuni şi în roca de bază)
    - după configurația în plan:
    - albii rectilinii (drepte)

- albii sinuoase (meandrate)

- albii despletite-împletite

- după caracterele morfologice şi morfogenetice (Schuman, 1985, citat de Radoane Maria et al., 2001), clasificare cuprinzând cinci tipuri, din care reţinem trei:

- tipul 1 - albii drepte, uniforme, stabile

- tipul 3 - albii meandrate

- tipul 5 - albii împletite, foarte instabile, cu fenomenul de avulzie

Caracterele morfometrice, morfografice şi morfodinamice ale albiilor de râu se studiază pe sectoare relativ omogene (uniforme): *sectoare de albie de râu.* Aceste sectoare naturale pot fi delimitate de: lungimea de undă a unui meandru (în cazul albiilor sinuoase), distanţa dintre două praguri (vaduri) sau adâncuri (în cazul albiilor rectilinii), distanţa dintre două noduri succesive de despletire-împletire (în cazul albiilor ramificate). Pe aceste sectoare distincte trebuie observate, cartate şi explicate morfologia şi morfodinamica albiilor, ale patului şi malurilor acestora.

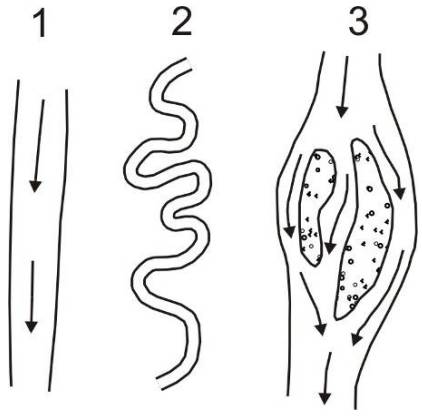
În lucrarea de faţă avem în atenţie albiile meandrate şi albiile despletite-împletite, cunoscut fiind faptul că albiile rectilinii sunt foarte rare în natură.

Deformaţiile albiilor prin procese de eroziune şi acumulare se concretizează în plan orizontal în forme variate. Formele (modelele) pe care le iau albiile în plan constituie rezultatul interacţiunii dintre apă şi substratul său, interacţiune ce se desfăşoară ca un proces sistemic multivariabil. Modelul imprimat în relief concretizează procesul de autoreglare tipic sistemelor deschise. Sunt cunoscute trei tipuri principale de astfel de modele:

- *albii rectilinii (drepte)*

- *albii meandrate*

- *albii despletite-împletite(ramificate)*



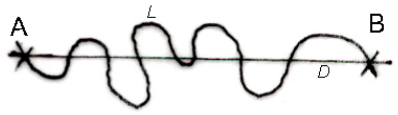
Modele de albii: 1. Albie dreaptă; 2. Albie meandrată; 3. Albie ramificată

Albii drepte sau sectoare de albii drepte (rectilinii) sunt considerate acelea care îşi menţin direcţia liniară pe o distanţă de peste 10 ori lăţimea lor. În alt mod, sunt apreciate ca drepte râurile cu un coeficient de sinuozitate mai mic de 1,5. În natură sunt foarte rare cazurile când albiile îşi păstrează caracterul rectiliniu de la o extremitate la alta. Acestea au o mobilitate redusă în plan.

Albii mendrate. De regulă, albiile sunt sinuoase sau mendrate. Râurile cu un coeficient de sinuozitate de 1,5 sau mai mare sunt considerate ca fiind mendrate.

În legătură cu albiile meandrate se calculează *coeficientul de meandrare* sau *coeficientul de sinuozitate al râurilor şi coeficientul de mobilitate al albiilor.*

Coeficientul de sinuozitate (K_s) este raportul dintre lungimea reală a râului sau sectorului de râu *(L)* şi lungimea în linie dreaptă (*D*) sau sectorului respectiv (A – B).



$$K_s = \frac{L}{D}$$

Sinuozitatea albiilor = relaţia (raportul) dintre lungimea cursului şi lungimea văii.

Coeficient de mobilitate (φ)

$$\varphi = \frac{v^2}{gd} - 15,$$

unde φ – coeficient de mobilitate al albiilor

v – viteza medie a curentului

g – acceleraţia gravitaţională

d – diametrul mediu al particulelor

Zonarea teritoriului României după coeficientul de mobilitate al albiilor:

- *zona I* – Carpaţi (la peste 1.000 m): $\varphi = \pm 15$; coeficientul de mobilitate al albiilor este limitat

↓

- *zona VI* – cursul inferior al Dunării şi Delta Dunării: $\varphi = + 10.000$ (valoare maximă).

Albii despletite-împletite (albii ramificate)

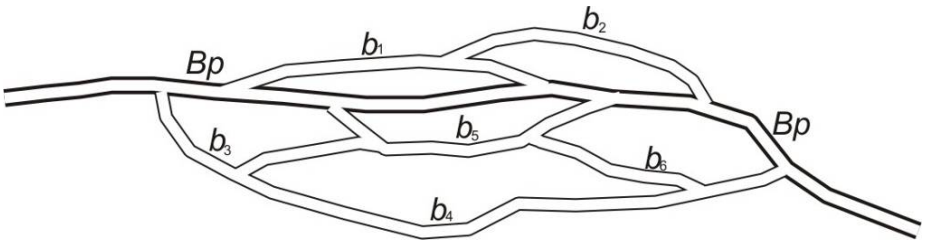
Râurile pot avea albii unitare sau albii despletite, ramificate. Procesul de divizare a cursurilor/albiilor minore se numeşte difluenţă.

Râurile despletite prezintă mai multe canale ce se reunesc şi se despart succesiv (albii multicanale). Sunt albii cu numeroase talveguri (curenți de curgere), între care sunt intercalate bare izolate (bancuri emerse, ostroave). În procesul de despletire se diferențiază brațe (canale) principale şi brațe (canale) secundare.

Coeficientul de ramificare (K_{ds}) este raportul dintre suma lungimii brațelor şi lungimea cursului considerată de-a lungul albiei principale. Formula de calcul, redată şi în capitolul *Morfografie şi morfometrie fluvială*, este următoarea:

$$K_{ds} = \frac{b_1 + b_2 + ... + b_n + B_p}{B_p},$$

unde Bp – brațul principal, iar b_1, b_2, ….b_n – brațele secundare



Albiile meandrate şi albiile despletite sunt deosebit de mobile în plan orizontal. Am văzut că se poate calcula şi coeficientul de mobilitate a albiilor.

Modelul albiei în plan orizontal depinde şi de substratul în care este sculptată albia. Astfel, albiile sculptate în rocă rezistentă, cu un coeficient de sinuozitate redus, sunt puțin mobile în plan orizontal; excepție fac meandrele încătuşate, cursurile cu meandre încătuşate. În timp ce albiile aluviale sunt mobile în plan orizontal, ramificate şi meandrate (cursuri rătăcitoare, divagante), cele adâncite în rocă în loc sunt mai stabile.

4.3.2. Albii meandrate

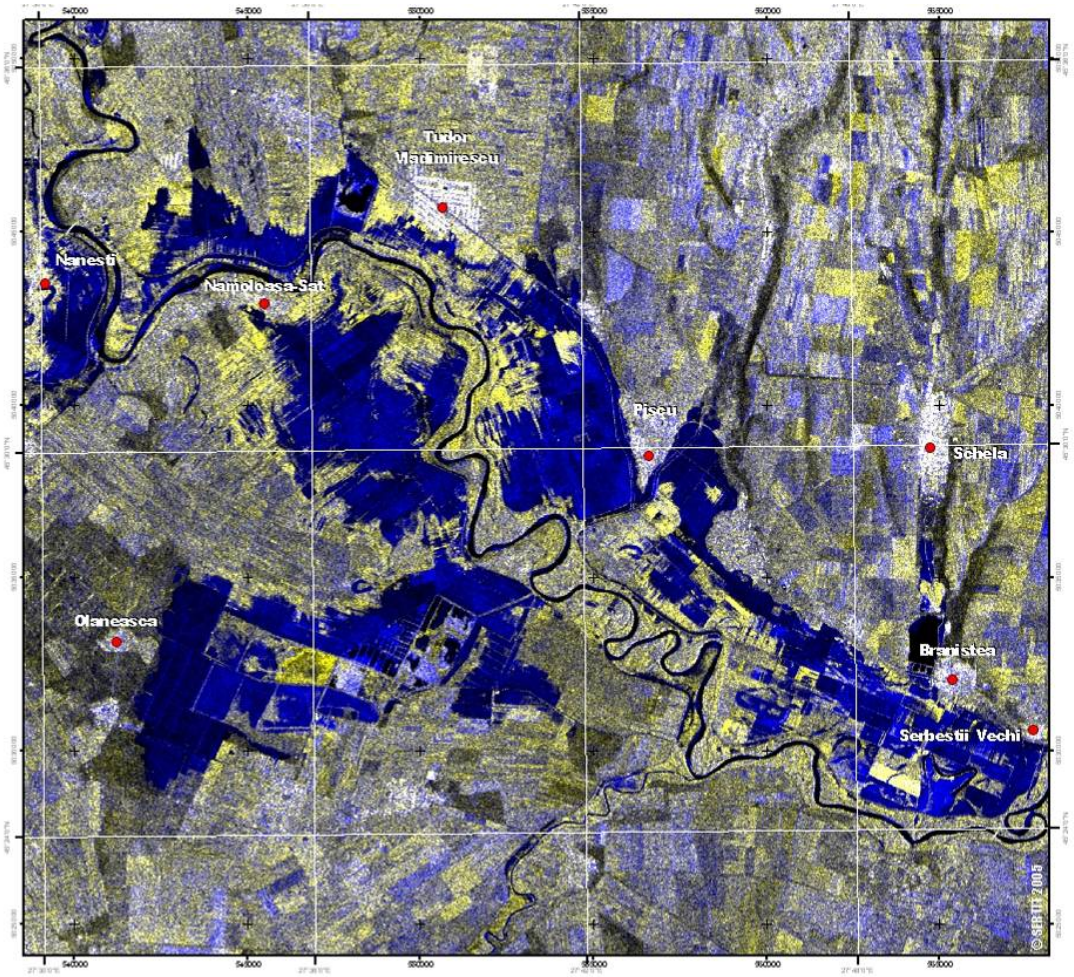
4.3.2.1. Noțiuni, elemente, tipologie, forme de relief

Meandrarea este cel mai comun proces în morfodinamica de albie, iar meandrul (cursul meandrat) este configurația cea mai probabilă pe care o va lua o albie evoluând către o stare apropiată de starea de echilibru.

Majoritatea specialiştilor sunt de părere că sinuozitatea este o caracteristică esențială a geometriei albiei, că meandrarea este o stare de hipertrofiere a fenomenului de sinuozitate şi că meandrarea este o expresie a realizării unui echilibru dinamic între factorii de modelare a albiei (Mac I., 1986; pag. 133).

Meandrul este o sinuozitate accentuată pe care o efectuează albia minoră a unui râu. Acest proces şi acest tip de albie sunt posibile în sectoarele de vale unde panta profilul longitudinal scade mult. Meandrele încep a se forma atunci când râurile se apropie, sectorial, de profilul longitudinal de echilibru (echilibru dinamic). Meandrarea trebuie privită şi ca un proces de autodezvoltare, de autoreglare (reglare între pantă şi debit).

Cursurile (albiile) sunt considerate meandrate dacă depăşesc indicele de sinuozitate de 1,3 sau 1,5.



Cursul meandrat al Siretului şi inundaţiile din spaţiul riveran (Câmpia Siretului Inferior) produse în iulie 2005. Document Radarsat, www.rosa.ro. Se observă că patul de meandrare, supraînălţat, domină lunca inundată

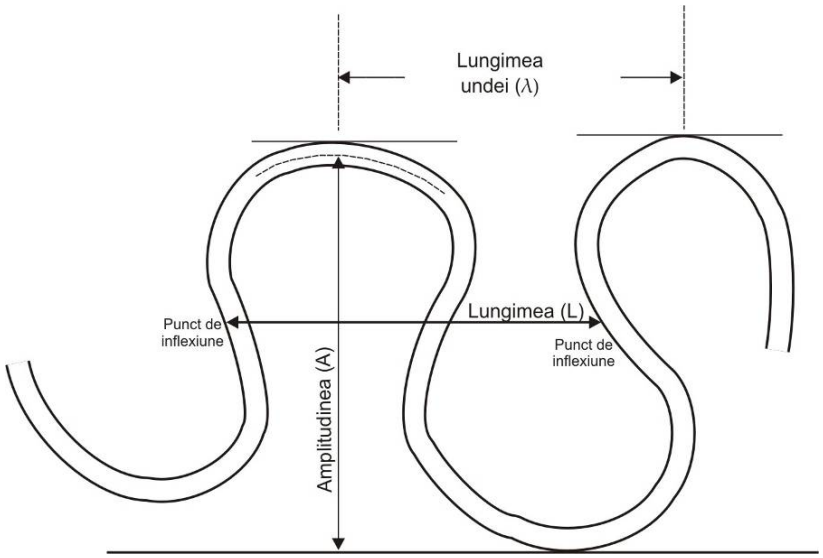
Unitatea morfometrică de bază a unui meandru este *bucla de meandru*. Numai două bucle în succesiune formează un meandru. Buclele se pot forma individual sau în formaţiuni de meandru.

- *Elementele unei bucle de meandru:*
  - lungimea
  - înălţimea

- raza medie
- aplatizarea
- sinuozitatea
- orientarea (direcția de migrare)
- apexul
- punctul de inflexiune

- Elementele unui meandru:

- lungimea de undă *(λ)* – distanța dintre punctele de curbură maximă a două bucle consecutive);
- amplitudinea meandrului.



Elemente ale unui meandru:
lungimea de undă (λ – undă de meandru), (L) lungimea meandrului, (A) amplitudinea meandrului

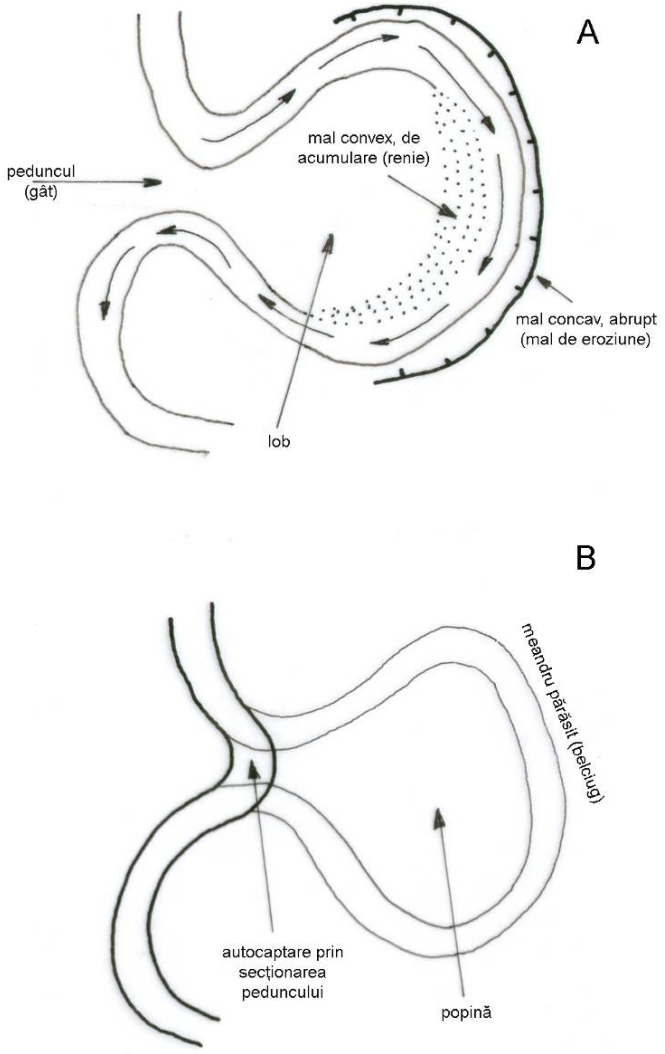
- Tipuri de meandre

Există o tipologie variată de meandre raportată la roca în care evoluează, la configurație (formă), la stadiul de evoluție:

- după formațiunea litologică în care evoluează:
  - *meandre libere (divagante, rătăcitoare)* - meandre care se dezvoltă în depozitele aluvionare ale luncilor; se caracterizează prin deosebita mobilitate, migrând în aval şi lateral în cadrul patului de meadrare a marilor râuri;
  - *meandre încătuşate (adâncite*), care se formează prin adâncirea albiei deja meandrate, în mod impus, prin epigeneză sau prin antecedență, în formațiuni dure.

- după stadiul de evoluție:
  - *meandre simple*, comportând elementele specifice ale unui meandru dezvoltat;
  - *meandre compuse* - meandre vechi de mari dimensiuni, pe bucla cărora s-au format meandre noi, de dimensiuni reduse (meandre secundare).

  sau
  - *meandre incipiente*
  - *meandre evoluate*
  - *meandre părăsite (rectificate*, *belciuge*), formate în urma secționării naturale a pedunculului (*autocaptare*)



Forme de relief specifice meandrelor: A. înainte de autocaptare; B. după autocaptare

- *Forme de relief specifice unui meandru activ:*
  - *malul concav, de eroziune* (mal abrupt)
  - *malul convex, de acumulare şi formare a reniei* (mal cu panta redusă)

- *lobul* (formă de relief conturată de bucla meandrului)
- *pedunculul sau gâtul meandrului* (face legătura dintre lob şi restul luncii ori al terasei)

- Forme de relief care rezultă în urma secţionării pe cale naturală a pedunculului (autocaptării):

- *popina sau grădiştea* (derivă din lobul meandrului prin autocaptare)
- *meandrul părăsit (meandrul mort*/*belciugul*).

4.3.2.2. Formarea şi evoluţia meandrelor

a) Factorii favorizanţi şi determinanţi în apariţia şi dezvoltarea meandrelor

1) *Panta*. Panta generală şi sectorială a profilului longitudinal este un factor determinant în meandrare, în sensul că doar pantele mici (sub 5^o) favorizează acest fenomen.
2) *Scurgerea elicoidală* (curenţii transversali, circulaţia elicoidală). Scurgerea helicoidală este considerată drept cauza principală a meandrării, a specificităţii proceselor de eroziune şi acumulare în albiile meandrate.
3) *Debitul solid* (natura şi cantitatea). Natura şi cantitatea debitului solid pot fi considerate determinante în meandrare, în sensul că odată cu descreşterea în cantitate şi calibru a materialelor, albiile devin înguste, adânci şi tind să meandreze. Aceasta nu poate fi însă o explicaţie pentru toate cazurile de meandrare.
5) *Factorul litologic* nu are un rol determinant. Se cunoaşte o relaţie matematică între coeficientul de sinuozitate *(P)* şi procentul de praf-argilă *(M)* din perimetrul albiei → $P = 0{,}94M^{0{,}25}$. Albiile ce au un procent mai mare de 60% praf-argilă au coeficientul de sinuozitate peste valoarea 1,5 şi deci meandrează.
4) *Debitului lichid*. Lungimea meandrului este direct proporţională cu mărimea debitului lichid. Nici acest factor nu este determinant pentru meandrare.

Sunt necesare şi alte precizări:

- Fiecare factor trebuie apreciat împreună cu ceilalţi, în interacţiune;

- Scurgerea şi acţiunea mecanică asupra substratului litologic, ca factori primordiali în apariţia albiilor fluviale, generează toate elementele geomorfometrice (lăţime, adâncime, pantă etc.) şi concretizează tipul de morfometrie în plan a albiilor şi stadiul lor de evoluţie.

- Meandrarea este un proces de „autoreglare”, un proces tipic al evoluției sistemelor deschise. Fenomenul, odată inițiat, se autodezvoltă şi evoluează în măsura în care mecanismele se ajustează în cadrul procesului general de meandrare. Meandrarea, expresie a echilibrului dinamic, presupune controlul tuturor factorilor, în sensul reducerii la minimum a variabilității lor. Acesta este conținutul *teoriei variației minime* (Mac I.,1986).

b) Mecanismele formării meandrelor

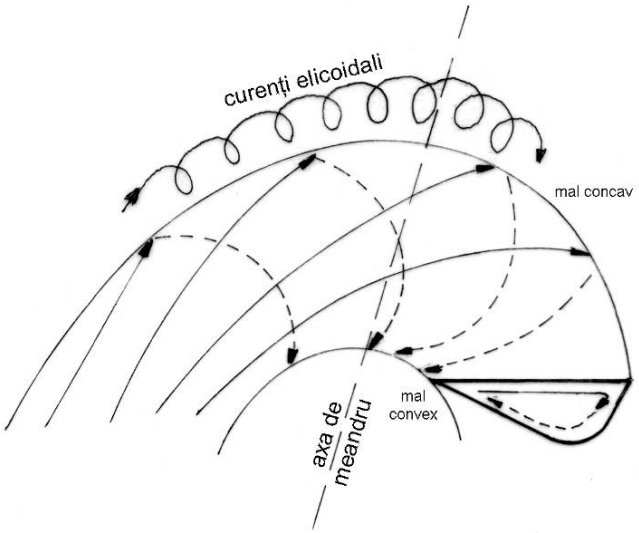
În legătură cu formarea meandrelor au fost avansate mai multe ipoteze: ipoteza modificărilor locale în scurgerea apei şi în desfăşurarea proceselor fluviale, apariția unei curburi atrăgând după sine propagarea fenomenului în aval; ipoteza efectului accelerației Coriolis, acesta constând din direcționarea curentului de apă spre unul din cele două maluri şi subsăparea acestuia, fenomenul transmițându-se alternant în aval; ipoteza curenților secundari (elicoidali, tangențiali) care acționează asupra malurilor, deformarea la unul din maluri propagându-se alternant în aval.

Cercetările de teren şi de laborator au demonstrat că cea mai comună formă pe care o poate lua o albie aluvionară este cea sinuoasă (Radoane Maria et al., 2001). Meandrarea este considerată *cea mai probabilă stare spre care tinde dinamica unei albii,* este *cea mai apropiată stare spre echilibru.* În acest sens, cercetătorii invocați opinează că *baza teoretică a acestor premise este dată de conceptele de variantă minimă şi de lucru mecanic minim şi aplicarea teoriei probabilităților în interpretarea reliefului fluviatil. În tot timpul evoluției sale către starea de echilibru, un curs de apă natural va lua acea formă care corespunde variantei minime a energiei potențiale a curenților pe unitatea de masă. Astfel, singura formă posibilă a unui traseu în plan al unei albii aluvionare este cea sinuoasă* (pag.112).

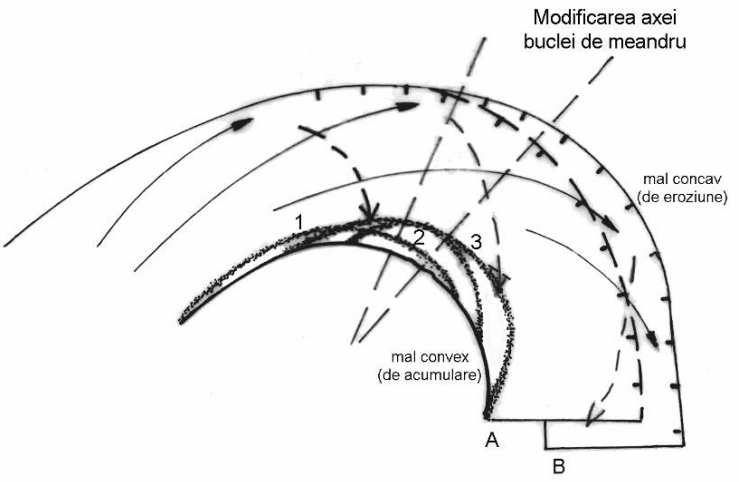
Meandrarea este rezultatul diferențierii proceselor de eroziune laterală şi acumulare la cele două maluri conducătoare ale albiei, la rândul său un efect al dezvoltării circulației elicoidale a apei datorită modificării, fie ea redusă, a geometriei albiei (a patului, a talvegului). Astfel, la un mal se produce eroziunea laterală, acesta devenind concav, şi acumularea la malul opus, acesta devenind convex. Procesele se intensifică progresiv, concavitatea şi convexitatea se accentuează în aceeaşi măsură. Meandrul/meandrele se dezvoltă, iar albia rectilinie se transformă în albie sinuoasă, meandrată.

Formarea şi dezvoltarea meandrelor este explicată prin circulația transversală (circulația elicoidală), care apare încă la albiile rectilinii, şi prin deformarea neuniformă a malurilor din cauza eroziunii laterale şi acumulării alternante, în condițiile menținerii relativ constante a lățimii albiei, o tendință naturală. Apariția de modificări, oricât de mici ar fi ele, în configurația malurilor sau a patului, este de natură să abată curentul apei față de axa dinamică

anterioară a albiei, la orientarea acestuia spre unul din maluri, care va lua forma de curbă concavă. La malul respectiv se va instala curentul cu viteză maximă, iar eroziunea astfel intensificată va genera un mal abrupt, înalt, şi o adâncime maximă a apei. La malul opus se vor depune materialele desprinse din malul concav, luând forma de curbă convexă. Se va forma treptat o buclă de meandru, un meandru, iar prin propagarea în avale a procesului vor rezulta formațiuni de meandru.



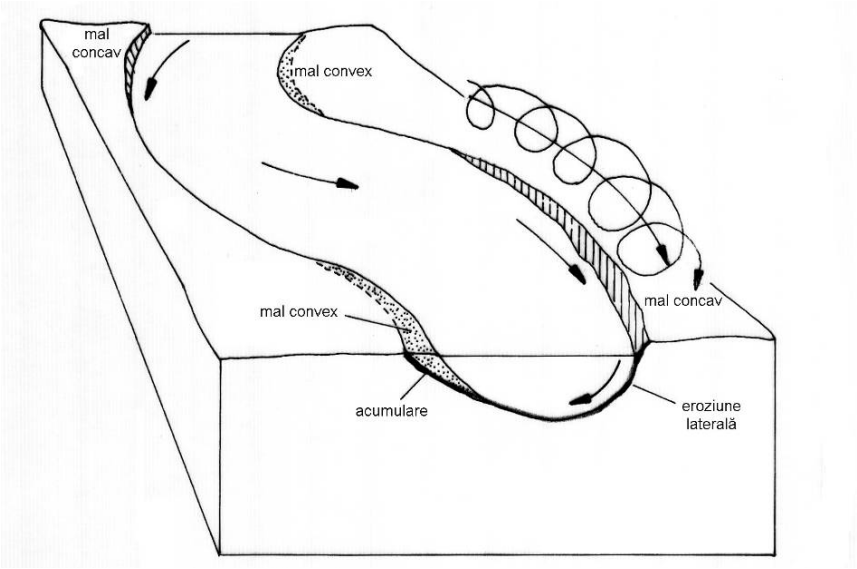
Distribuția curenților transversali într-o buclă de meandru



Deplasarea în avale şi laterală a unei bucle de meandru: A şi B – două faze succesive; 1,2,3, - acumulări consecutive de aluviuni la malul convex

Aşadar, la un meandru se produc, diferențiat, două tipuri de procese geomorfologice: eroziunea la malul concav şi acumularea la malul convex. Maximul eroziunii nu are loc exact în vârful meandrului (axul curburii externe), ci puțin mai în aval de acest punct. Malul convex, marcat de depuneri sub formă de arcuri separate de spații mai joase *(renia)*, este situat la o semilungime de undă în avale, acolo unde se localizează vitezele minime al fluxului de apă şi de aluviuni. Volumul materialelor erodate la malul concav este egal cu volumul

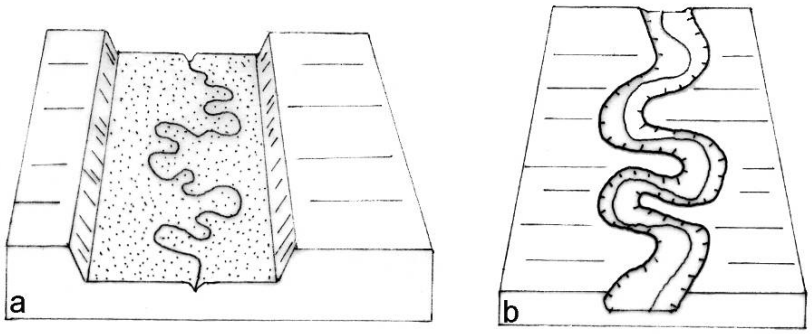
materialelor depuse la malul convex. Toate aceste procese acționează în direcția avale, lateral, iar în anumite faze şi spre amunte, de unde migrarea meandrelor, a cursurilor meandrate în direcțiile respective. Numai meandrele evoluate prezintă şi o deplasare către amunte.



Diferențierea proceselor geomorfologice într-un sector de albie meandrată
în funcție de distribuția curenților

c) Evoluția meandrelor

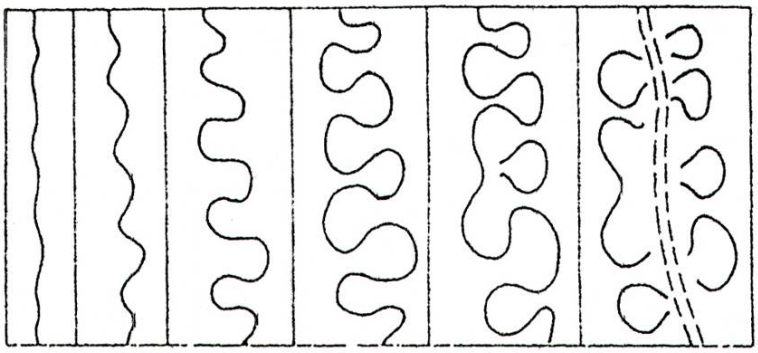
După modul de evoluție există o diferențiere netă între *meandrele libere (divagante, de câmpie aluvială)* şi *meandrele încătuşate (adâncite).*



Tipuri de meandre: a. meandre libere; b. meandre încătuşate (adâncite)

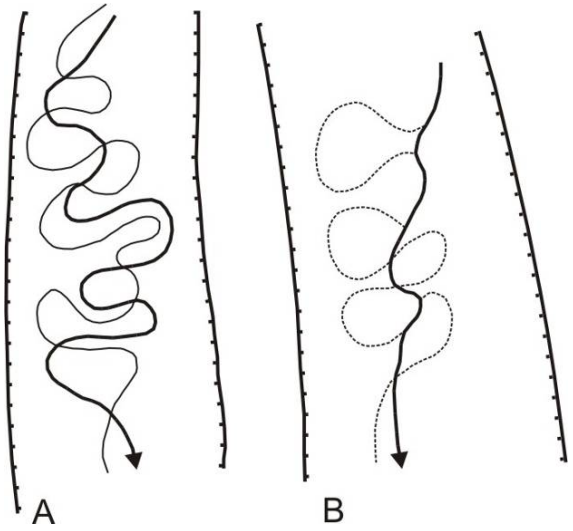
Evoluția *meandrelor libere*, meandre specifice luncilor mari şi câmpiilor de subsidență, constă în deplasarea (migrarea) lor în aval şi lateral, în creşterea amplitudinii şi a razei de curbură, mecanisme ce conduc la lărgirea patului (coridorului) de meandrare, la creşterea indicelui de sinuozitate şi de mobilitate a albiilor, la captări de meandru (autocaptări), la părăsirea cursurilor meandrate (avulzie, divagare). Aceste fenomene se

produc de multe ori în mod brusc (avulzie). După ajungerea la un stadiu avansat în dezvoltarea meandrelor începe, aşa cum am văzut, tăierea pedunculului şi formarea unui curs cu panta ceva mai mare şi cu sinuozitate mai redusă (deci cu lungime mai mică), cu albie mai stabilă. Se produce deci o ajustare (reglare) a lungimii, pantei, vitezei şi debitului râului pe un anumit sector, care va face posibilă o mai eficientă scurgere a apei în albie. Are loc, de asemenea, şi ajustarea coridorului de meandrare.

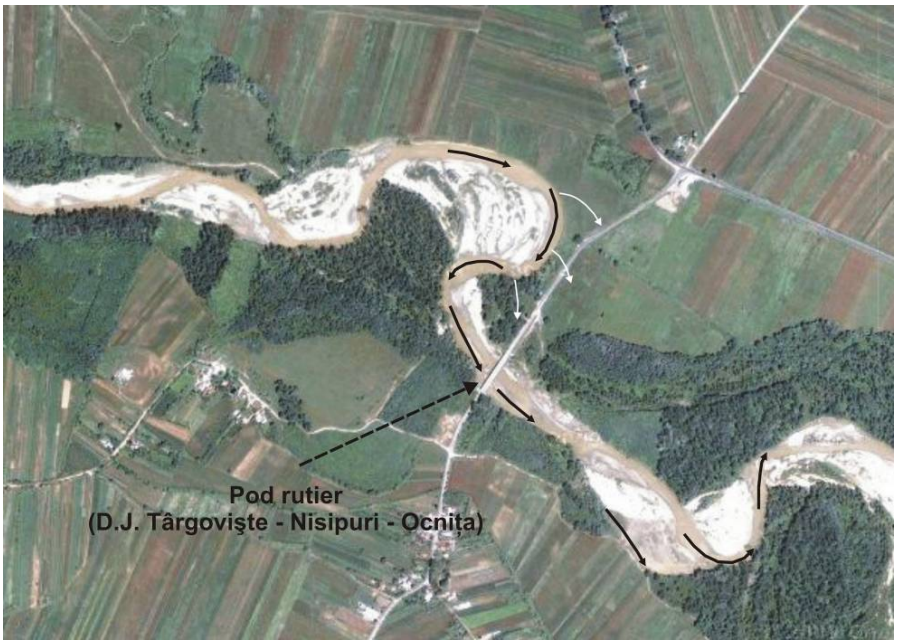


Evoluția meandrelor: inițiere, amplificare, rectificare (Coteț P., 1971, cu completări)

Evoluția de meandru şi remanierile hidrografice pot antrena în sfera riscului aşezări, infrastructura, terenuri agricole. Pentru prevenirea sau înlăturarea riscului este obligatorie intervenția omului prin lucrări hidrotehnice speciale de regularizare şi apărare: corectarea (rectificarea) meandrelor; crearea de albii noi, rectilinii ori uşor sinuoase, bine calibrate; îndiguiri etc.

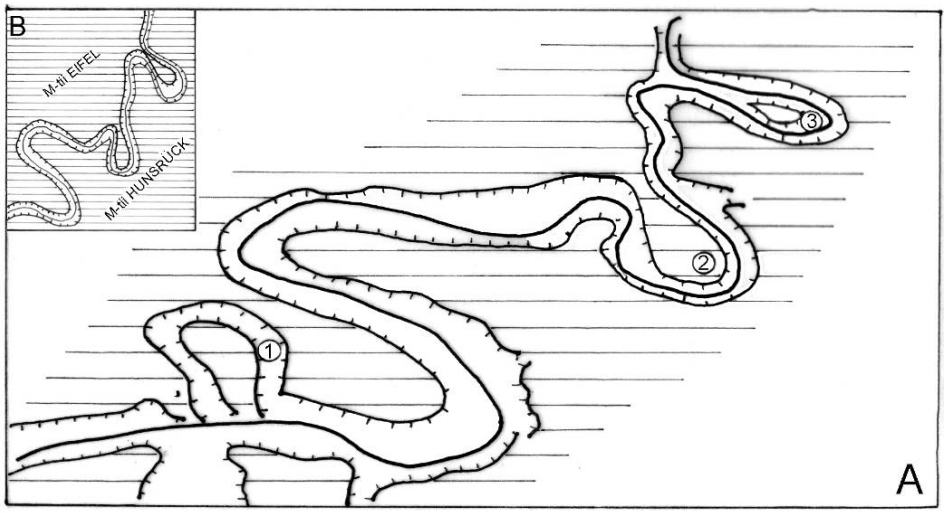


Evoluția meandrelor libere. Deplasarea în avale şi laterală a meandrelor (A) şi rectificarea naturală a cursului prin secționări succesive ale meandrelor (autocaptări) (B)



Migrarea laterală şi în avale a meandrelor ridică anumite probleme de ordin practic, punând sub risc aşezări, infrastructură, fond funciar. În această imagine satelit se observă direcția de deplasare a unui meandru al Ialomiței, avale de Târgoviște, cu risc pentru un pod rutier (Nisipuri)

Meandrele încătuşate sunt săpate în formațiuni litologice *in situ*, mai compacte, mai dure. Ele se formează la scara timpului geologic, odată cu adâncirea albiei şi a văii, în ansamblu, sub comanda mişcărilor tectonice de înălțare lentă sau a coborârii nivelului de bază regional ori general. Sunt meandre realizate în special prin *antecedență* şi *epigeneză*, adică prin *supraimpunerea* văilor. Se mai numesc *meandre de vale*. Şi acest tip de meandre se deplasează lateral şi în avale, rezultând un coridor de meandrare şi o vale calibrată. Este o vale lărgită prin meandrare, flancată de versanți abrupți, uneori sub formă de trepte structurale, aşa cum sunt canioanele.



Meandrele încătuşate ale râului Mosel (Moselle), în sectorul german. Schițe geomorfologice după o fotografie aeriană – V. Loghin, 2005 (A) şi după KompaktAtlas Deutschland 1:300.000 (B): 1. meandru secționat; 2,3. meandre posibil a fi secționate

Meandrele încătuşate ale râului Töss, afluent al Rinului, în Podişul Elveţiei
(fotografie aeriană, 1999, V. Loghin)

Meandru încătuşat al râului Doubs, afluent al Saône-ului. O parte a oraşului Besancon
(Franţa) se află în lobul unui astfel de meandru

4.3.3. Albii despletite-împletite (ramificate) [10]

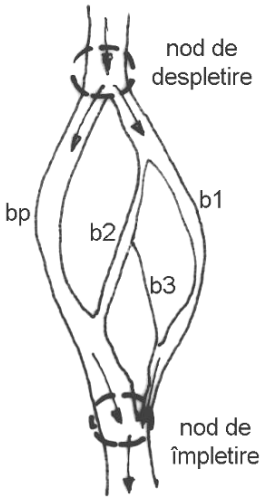
Albiile despletite-împletite reprezintă cel de al doilea model pe care îl iau albiile râurilor, având o frecvenţă mai redusă decât albiile meandrate.

Descompunerea cursului unui râu în mai multe braţe se numeşte difluenţă. Divizarea albiei unitare în braţe (despletire) şi recompunerea lor într-o singură albie (împletire) sunt cauzate de depunerea de aluviuni, sub formă de bancuri, pe patul albiei. Bancurile submerse

[10] Faţă de utilizarea termenilor de *albii despletite* şi *albii împletite* am ales să-l folosim pe cel de *albii despletite-împletite.*

devenind emerse şi ostroave, iar apoi insule, generează obstrucţia şi divizarea albiei minore. Un sector de albie ramificat este delimitat de *noduri de despletire* şi *noduri de împletire*.

Albie unitară Albie ramificată



Ierarhizarea ramificării unui curs: bp – braţ principal; b1, b2, b3 – braţe de dimensiuni inferioare

O categorie specială o constituie albiile anastomozate, identificându-se atunci când lăţimea insulelor este de trei ori mai mare decât lăţimea albiei. Ele reprezintă un stadiu mai avansat în evoluţia acestui fenomen şi se caracterizează prin stabilitate mai mare.

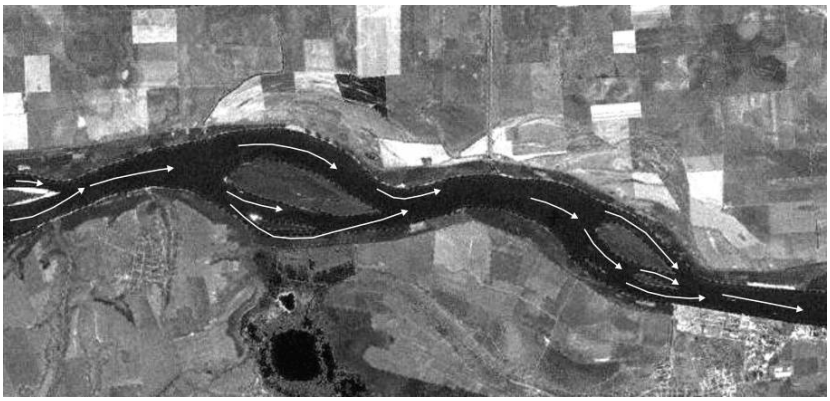
În procesul de despletire-împletire se produce o ierarhizare. De aceea, pe un sector dat, numărul total de fracţiuni şi numărul total de ochiuri de reţea (respectiv, ostroave) sunt în relaţie cu gradul de despletire-împletire. Unele braţe sunt principale, altele sunt secundare. Structura acestui model de albie evoluează de la simplu la complex, putând lua o largă gamă de configuraţii.

În legătură cu acest tip de albie se calculează indicele de despletire-împletire sau coeficientul de ramificare, care reprezintă raportul dintre suma lungimii braţelor (sau ostroavelor) pe un sector şi lungimea sectorului măsurat pe mijlocul albiei (vezi pag....).

Cercetările geomorfologice au permis stabilirea următoarelor cauze ale formarii albiilor ramificate: diminuarea locală a competenţei râului şi sortarea aluviunilor; modificarea secţiunii transversale a albiei de la îngustă şi adâncă la largă şi puţin adâncă; creşterea pantei (panta unui sector de despletire-împletire este mai mare decât a unui sector de albie unitară); creşterea debitului solid (ca, de exemplu, la confluenţe), unele obstacole apărute în albia

minoră (formațiuni de roci mai dure, piloni de poduri etc.). Pe scurt, pantele mari şi debitele solide mari sunt cauzele principale ale formării albiilor ramificate.

Formele aluviale caracteristice albiilor despletite-împletite sunt *ostroavele*. Ele provin, cum s-a arătat anterior, din bancuri submerse, care, la rândul lor, se pot transforma, în timp, în insule. Insulele, spre deosebire de ostroave, sunt mult mai stabile, în general ferite de revărsări (numai la viituri pot fi inundate), pe care se instalează vegetația specifică (zăvoaie) şi pe care se manifestă deja un proces de solificare, cu apariția aluviunilor solificate şi a solurilor aluviale (de exemplu, pe otroavele Dunării şi în special în Balta Ialomiței şi în Balta Brăilei).



Despletirea fluviului Dunărea generată de formarea ostroavelor / insulelor pe sectorul româno-bulgar, amunte de Călăraşi (Imagine Landsat 7 ETM, http://maps.yahoo.com)

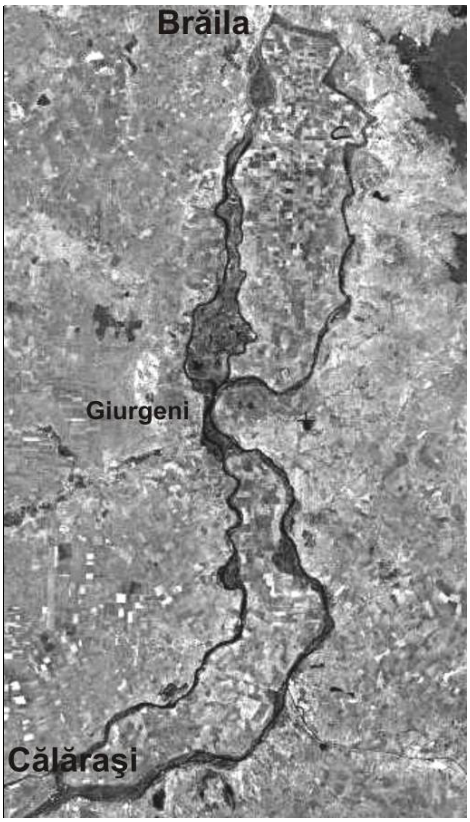


Fig. Fluviul Dunărea înregistrează o bifurcație succesivă între Călăraşi şi Brăila, între brațele principale, fiind încadrate Balta Ialomiței şi Balta Brăilei (imagine Landsat 7 ETM, http://maps.yahoo.com)

Există diferite tipuri de ostroave după poziția lor în cadrul albiei, după origine, formă, stadiu de evoluție etc. Aşadar, se deosebesc ostroave simetrice (pe axul albiei), asimetrice sau laterale (pe una din laturile albiei, derivate din renii sau grinduri), ostroave formate în avale de confluențe, ostroave generate de deluvii de alunecare sau alte componente morfologice care nu au origine fluvială.

Depozitele care alcătuiesc ostroavele au variații granulometrice pe diferitele sectoare de râu, în funcție de sortarea lor în profil longitudinal. În general, structura este puțin marcată. În cazul depozitelor eterogene de mari dimensiuni se observă intercalarea lentilelor de argilă (provenite din maluri) cu depunerile de pietrişuri şi nisipuri. Aceasta este structura lenticulară.

În caz de risc, sectoarele cu despletiri-împletiri trebuie să fie supuse lucrărilor hidrotehnice speciale: corectări de brațe, cu suprimarea celor ce pot genera daune, crearea de albii noi, canale, diguri etc.

5. UNELE TEME DE GEOMORFOLOGIE FLUVIATILĂ REFERITOARE LA VALEA IALOMIȚEI (SECTORUL MOROIENI – TÂRGOVIŞTE)

5.1. Morfologia de ansamblu a Văii Ialomiței în sectorul subcarpatic (Moroieni – Doiceşti)

Cu orientare generală N-S, valea subcarpatică a Ialomiței (Moroieni-Doiceşti) are aspectul unui culoar tot mai larg, flancat de versanți cu înclinare moderată, în care au luat o dezvoltare din ce în ce mai mare terasele fluviatile. Aceste trăsături geomorfologice i-au conferit un potențial ridicat de habitat.

Formată de-a lungul pliocenului superior şi al cuaternarului, valea subcarpatică a Ialomiței s-a adâncit şi lărgit în formațiuni tot mai noi şi tot mai friabile dinspre nord către sud: strate de Sinaia, strate de Comarnic aferente flişului cretacic în sectorul Moroieni – Fieni; marne, argile şi brecii de vârstă cretacic superior, argile, marne, disodile, menilite şi gresii (de Fusaru, de Kliva) aparținând flişului paleogen în sectorul Fieni-Pucioasa; gresii, marne, gipsuri şi conglomerate helvețiene, nisipuri, gresii, argile şi marne meoțiene, argile şi nisipuri ponțiene şi daciene în sectorul Pucioasa-Doiceşti; argile, nisipuri, marne cu cărbuni în avale de Doiceşti. Ca urmare, valea a căpătat tot mai mare extindere în profil transversal din amunte în avale.

De asemenea, valea Ialomiței în sectorul său subcarpatic a evoluat pe o direcție transversală față de unitățile tectono-structurale de bază (flişul cretacic, flişul paleogen şi molasa) şi față de structurile cutate (axele anticlinalelor şi sinclinalelor), trăsătură morfogenetică ce se reflectă în morfologia de ansamblu şi de amănunt. Ca urmare, în lungul văii alternează sectoare mai înguste, care corespund locurilor de intersectare a anticlinalelor, respectiv a culmilor anticlinale (intre Pietrosita si Buciumeni,între Moțăieni şi Pucioasa, între Priboiu – Brăneşti şi Doiceşti), cu sectoare mai largi(Moroieni-Pietroşița, Buciumeni – Fieni, Pucioasa – Brăneşti), dezvoltate în cadrul unor sinclinale, respectiv al unor depresiuni sinclinale (Depresiunea Moroieni – Pietroşița, Depresiunea Buciumeni – Fieni, Depresiunea Pucioasa). În avale de Doiceşti, valea Ialomiței se lărgeşte tot mai mult, permițând înaintarea câmpiei (Câmpia Târgoviştei), sub formă de golf, înspre dealurile subcarpatice.

În procesul evoluției pliocen superior-pleistocen-holocen, puternic marcată de mişcări neotectonice, variații climatice şi modificări ale nivelului de bază, s-au conturat progresiv elementele geomorfologice ale acestei văi Ialomitei, cu rol coordonator în morfogeneza

întregii unități colinare pe care o străbate: mai întâi versanții (pliocen superior - pleistocen inferior), apoi terasele (pleistocen mediu - pleistocen superior) şi albia majoră cu albia sa minoră (holocen). În acest proces morfogenetic complex s-au racordat la valea Ialomiței o serie de văi create de arterele hidrografice tributare: Ialomicioara (Ialomicioara Păduchiosului), Țâța (Valea Dealu Frumos), Ialomicioara (Pârâul Runcului), Bizdidel, Vulcana.

Albia minoră este, în general, slab sculptată, cu maluri instabile reprezentate de grinduri şi cu un pat aluvial bine format şi aproape continuu (sectorul Moroieni – Pietroşița,sectorul Buciumeni-Fieni, sectorul Pucioasa – Vulcana Pandele). Având o lungime de cca. 40 km şi fiind înscris între cotele de 620 m la Moroieni şi 350 avale de Doiceşti, profilul longitudinal al albiei are o pantă medie de aproximativ 6,7 m/km, cu uşoare rupturi naturale (structurale şi litologice), dar şi importante fracționări artificiale (lucrări hidrotehnice). Toate aceste trăsături indică instalarea profilului de echilibru dinamic, care este însă marcat de o serie de puncte critice.

Modelul caracteristic de albie în plan orizontal este acela al albiei despletite. Configurația despletirilor se modifică la apele mari şi în special la viituri, după cum se modifică bancurile submerse şi ostroavele care le generează. Sunt procese morfohidrografice care se produc în condiții de supraluvionare a albiei minore (galeți, pietrişuri, nisipuri) şi care atestă echilibrul dinamic al profilului longitudinal şi mobilitatea orizontală a albiei în aceste condiții morfogenetice. Supraluvionarea patului albiei favorizează revărsările şi inundațiile, despletirile extind spațiul aflat în sfera de acțiune a râului, iar eroziunea laterală subminează malurile, spațiul riveran şi infrastructura aferentă.

Albia majoră, intens aluvionata în perioada apelor mari şi la viituri, este alcătuită din depozite recente şi actuale: blocuri (indeosebi pe sectorul Moroieni – Pietroşița), galeți, pietrişuri, nisipuri, mâluri. Ele se află în diferite stadii de fixare şi de solificare, de instalare a vegetației higrofile. Sectorul cel mai extins al albiei majore, o luncă autentică, se află în amunte de lacul de acumulare Pucioasa şi în avale de acesta, până la Vulcana Pandele, ce corespund porțiunilor de vale mult dezvoltate în profil transversal. În lipsa unor lucrări hidrotehnice corespunzătoare, albia majoră se află în zona de risc hidrologic (revărsări, inundații) şi de risc geomorfologic (aluvionări). Episoade dramatice de acest fel au avut loc în iunie 2001 şi iunie 2005.

Aluviunile din albia minoră şi majoră sunt exploatate ca agregate minerale, intervențiile respective având consecințe negative întrucât perturbă scurgerea naturală a apelor în albii şi dinamica proceselor fluviatile (la Buciumeni, la Fieni şi în sectorul Brăneşti - Vulcana Pandele).

Terasele constituie rezultatul adâncirii şi lărgirii ritmice a văii Ialomiţei în condiţiile morfogenetice specifice pleistocenului: variaţii climatice şi oscilaţii ale nivelului de bază general, mişcările neotectonice cu intensitate variabilă. În sectorul considerat, Ialomiţa a sculptat terase alternante, numărul şi extensiunea lor crescând din amunte în avale. Ele au căpătat o amploare deosebită în Depresiunea Pucioasa şi la confluenţa Vulcanei cu Ialomiţa. Dacă în sectorul Buciumeni-Moţăieni sunt bine evidenţiate doar terasele inferioare de 2/3 m şi de 10/15 m (unul sau două nivele superioare sunt slab conservate strict local, în prelungirea unor promontorii interfluviale), în sectorul Pucioasa (pe stânga Ialomiţei) şi în sectorul Brăneşti - Gura Vulcanei - Şotânga (pe dreapta Ialomiţei) se dezvoltă mult un complex de patru terase, extensiunea cea mai mare având-o terasele de 10/15 m şi 20/30 m. De la Doiceşti (pe stânga Ialomiţei) şi Şotânga (pe dreapta Ialomiţei) terasele coboară, trecând, prin efilare, unele în altele, spre Câmpia Târgovişte.

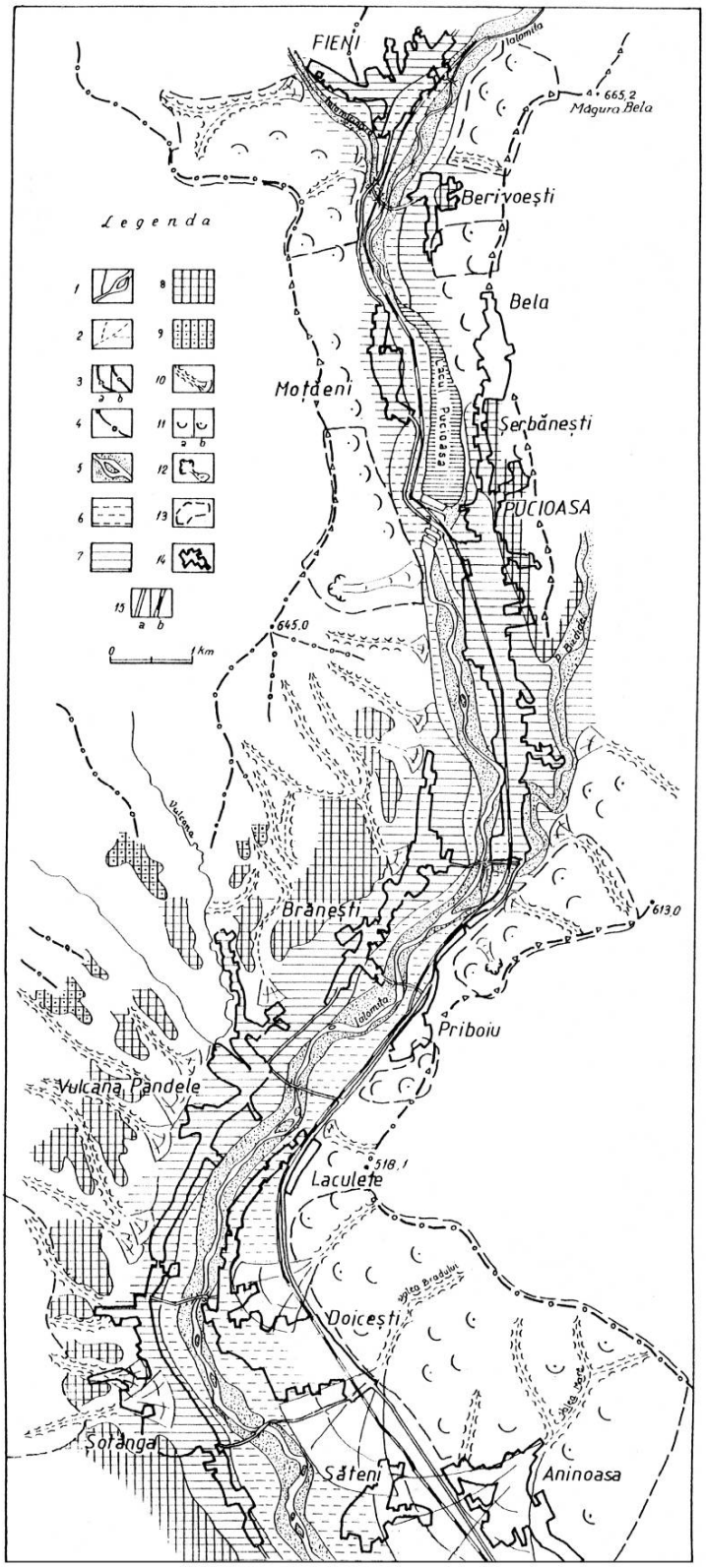
Dezvoltarea pe care o au podurile de terasă a fost judicios valorificată în planul utilizării spaţiului, acestora suprapunându-li-se vetrele aşezărilor urbane şi rurale, reţeaua de drumuri (naţionale – Târgovişte-Sinaia – şi judeţene) şi căi ferate (Târgovişte – Pietroşiţa) şi terenurile agricole cele mai fertile.

La nivelul teraselor, singurele sectoare active din punct de vedere morfodinamic şi deci marcate de un anumit grad de risc sunt frunţile teraselor joase subliniate de albia minoră sau majoră, acestea fiind afectate de eroziunea laterală şi de surpări.Un caz mai grav este cel al subinarii fruntii terasei 2 a Ialomitei,in partea din amunte a localitatii Buciumeni,acolo unde acest rau conflueaza cu Valea DealuFrumos .

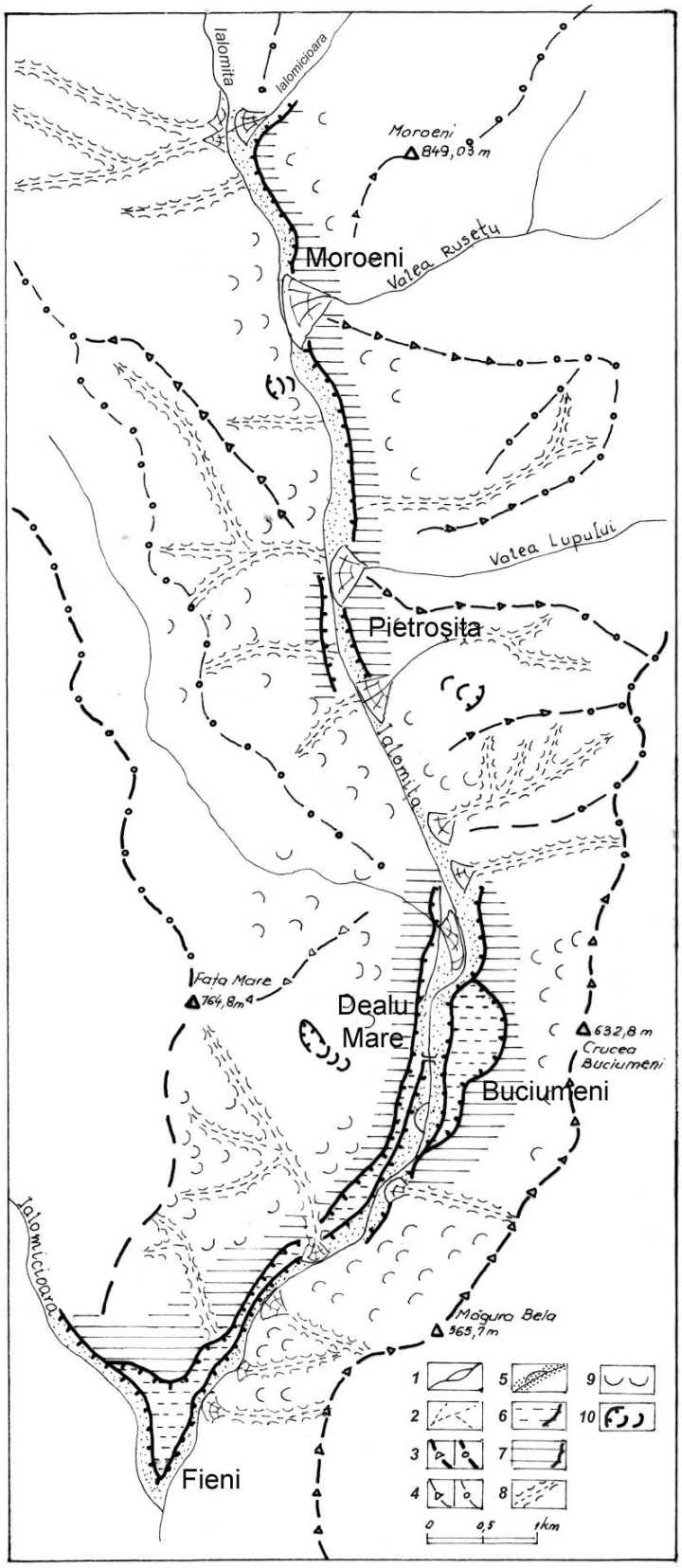
Versanţii prezintă o mare varietate de aspecte ca formă, înclinare şi morfodinamică actuală. Profilul de versant este complex, numai sectorial putându-se identifica tipurile de bază (drept, convex, concav). Această trăsătură reflectă raporturile strânse existente între morfologia de detaliu şi substratul geologic, dinamismul proceselor de versant care determină o modificare rapidă a configuraţiei terenurilor în pantă. În aceste condiţii, un tip de versant frecvent întâlnit este cel vălurit haotic (neregulat), caracteristic pentru arealele cu alunecări de teren şi curgeri de noroi. Este tipul de versant deluvial.

Panta medie a versanţilor are valori de 15-20°. În lungul profilului alternează sectoare cu înclinări diferite, în suita cărora se înscriu şi rupturi de pantă pronunţate. Acestea pot să corespundă capetelor de strate alcătuite din roci mai dure (gresii, conglomerate) care aflorează, râpelor de desprindere şi de eroziune torenţială, carierelor de exploatare a materialelor de construcţie. Pantele mai mici corespund planurilor de strat şi rocilor moi, plastice (argile, marne). Cel mai adesea rupturile de pantă se identifică ca fiind punctele critice din linia de versant, care se pot transforma în nuclee de degradare a terenurilor.

Valea Ialomiței în sectorul Moroieni – Târgovişte aşa cum este pusă în evidență de o imagine satelit Landsat 7 (www.googlemaps.com)



Valea Ialomiței în sectorul Fieni – Doicești – Relieful, apele, așezările și căile de comunicație.
1. Rețea hidrografică permanentă; 2. Rețea hidrografică temporară; 3. Interfluviul principal: a) ascuțit; b) convex; 4. Interfluviul secundar (rotunjit); 5. Albie majoră; 6. Terasa de 2-3- m; 7. Terasa de 8-10 m; 8. Terasa de 30-35 m; 9. Terasa de 55-60 m; 10. Organisme torențiale; 11. Alunecări de teren: a) superficiale; b) profunde; 12. Curgeri de noroi; 13. Areale cu degradări de teren intense; 14. Așezări; 15. Căi de comunicație: a) drumuri; b) căi ferate



Valea Ialomiței în sectorul Moroeni – Fieni. Harta geomorfologică
1. Rețea hidrografică permanentă; 2. Rețea hidrografică temporară; 3. Interfluviul principal: a) ascuțit; b) convex; 4. Interfluviul secundar a) ascuțit; b) convex; 5. Albie majoră; 6. Terasa de 2-3 m; 7. Terasa de 8-10 m; 8. Organisme torențiale; 9. Alunecări de teren superficiale; 10. Alunecări de teren profunde

În general morfodinamica de versant este accentuată, versanţii caracterizându-se prin diferite grade de instabilitate. Potenţialul natural (substratul geologic argilo-marno-grezos, caracterele morfometrice şi morfografice ale versanţilor, gradul redus de împădurire) este favorabil deplasărilor în masă, eroziunii areale şi liniare (şiroirii, ogăşirii şi ravenării). Un rol covârşitor în intensificarea dinamicii de versant şi în declanşarea proceselor geomorfologice destructive au avut diferitele forme de intervenţie antropică: despăduririle, exploatarea agricolă inadecvată a terenurilor în pantă (suprapăşunat în perimetrul izlazurilor comunale, exploatarea excesivă şi nesistematizată a rocilor de construcţie, ca la Fieni, Pucioasa şi Doiceşti). Toate aceste perimetre s-au transformat în areale de degradare intensă a terenurilor în pantă. Recentele lucrări de reorganizare a carierelor şi de diminuare a impactului acestora asupra mediului dau rezultate promiţătoare.

Categoria versanţilor în echilibru dinamic, cu o stabilitate relativă, corespunde spaţiilor împădurite, care deţin o pondere de circa 20% din fondul funciar aferent flancurilor văii Ialomiţei. Aceasta caracterizează îndeosebi flancul stâng între Pietroşiţa şi Buciumeni, flancul drept între Pucioasa Sat şi Şotânga, care sunt areale bine împădurite (gorun, fag) sau replantate (pin).

5.2. Morfologia şi morfodinamica albiei Ialomiţei în sectorul Moroieni – Târgovişte

Cu o lungime de cca. 45 km şi înscris altimetric între 620 m şi 283 m, profilul longitudinal al Ialomiţei subcarpatice (Moroieni -Târgovişte) prezintă o panta medie de 6,6 m/km şi numeroase funcţionări naturale şi artificiale, acestea din urmă fiind mai accentuate

Profilul longitudinal natural al albiei Ialomiţei între Moroieni şi Târgovişte (sector ce corespunde în cea mai mare parte unităţii dealurilor subcarpatice) se află în linii mari, în stadiu de echilibru dinamic, calitate morfogenetică atestată de prezenţa unui pat aluvial bine format pe aproape întregul tronson, dar modificat sau chiar îndepărtat prin o serie întreagă de lucrări hidrotehnice recente. În etapa evolutivă actuală, acesta nu este însă un profil de echilibru ideal, fapt relevat de existenţa a mai multor segmente cu pante de echilibru dinamic diferite şi a numeroase rupturi de pantă de natură litologică, structurală şi tectonică, aspecte ce reflectă influenţa condiţiilor locale în modelarea fluviatilă.

Cu trăsăturile evidenţiate mai sus, profilul longitudinal natural al albiei Ialomiţei în sectorul Moroieni - Târgovişte a fost supus unor modificări antropice importante din raţiuni tehnice şi economice - protecţia podurilor, alimentarea cu apă a aşezărilor şi a unităţilor

industriale, regularizarea râului, aducțiunile pentru microhidrocentralele de pe sectorul Moroieni – Fieni.

Acestea sunt reprezentate, în majoritatea lor, prin lucrări hidrotehnice (praguri în avale de podurile rutiere şi feroviare - 4, praguri de liniştire a apelor şi de dirijare a acestora pe canale - 2, baraje şi lacuri de retenție – 2, aducțiuni pentru noile microhidrocentrale de pe tronsonul Moroieni - Fieni) şi prin exploatări de aluviuni din albia minoră şi majoră (balastiere – 3). Lucrările respective au determinat schimbări semnificative in morfometria şi morfografia albiei, în hidraulica albiei şi implicit în natura şi dinamica proceselor fluviatile, atât în amunte cât şi în avale de amplasamentul pe care îl au.

Induse de modificarea nivelului de bază local (înălțare la praguri şi baraje, coborâre în locurile de excavare a albiei), efectele lucrărilor practicate în profilul longitudinal al albiei (categorii şi arie de manifestare) au depins de tipul şi dimensiunea acestor intervenții. În sectoarele modificate antropic prin acțiuni dirijate sau prin acțiuni abuzive, au avut loc substituiri de procese fluviatile sau numai modificări de intensitate. S-a produs în felul acesta o redistribuire în profil longitudinal a proceselor de albie (eroziune în adâncime, eroziune laterală, transport, acumulare), atât sub raport morfogenetic cât şi morfodinamic. Voit sau involuntar, unele procese au fost introduse iar altele eliminate, unele au fost atenuate iar altele accentuate, unele au fost supuse controlului iar altele pierdute de sub control.

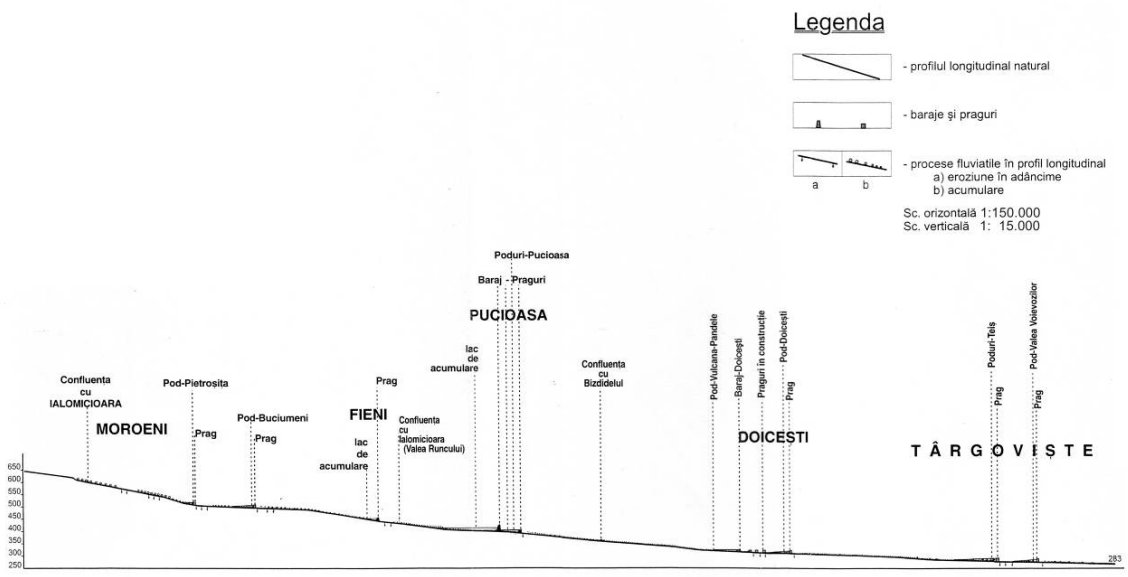
Cercetările de teren efectuate timp îndelungat (1970 - 2008) au permis evidențierea consecințelor pozitive şi negative generate de fiecare lucrare supusă observației, precum şi formularea de propuneri de ordin tehnic pentru diminuarea sau înlăturarea riscurilor legate de modificarea morfodinamicii naturale a albiei. Observațiile şi cartările efectuate în teren sunt concretizate în două reprezentări grafice şi cartografice veridice şi sugestive şi într-un tabel, materiale pe care le propunem spre analiză.

Cele mai importante modificări în geneza şi dinamica proceselor de albie au generat lucrările hidrotehnice care, prin proiect, aveau rolul de a ridica în mod considerabil nivelul de bază local şi de a regulariza astfel cursul râului pe o porțiune determinată. Acestea sunt pragul de la Pietroşița, barajul de la Pucioasa, barajul de la Doiceşti (avale de podul rutier Vulcana Pandele), pragul de la Teiş şi pragul de la Valea Voevozilor.

Pragul de la Pietroşița (4 m înălțime) a fost construit în scopul protecției pilelor podului rutier de pe DN 71 (Târgovişte - Sinaia). Siguranța acestui obiectiv era amenințată de eroziunea în adâncime deosebit de puternică în secțiunea respectivă a profilului longitudinal al albiei Ialomiței, care înregistra o ruptură de pantă pronunțată cu condiționare structurală şi petrografică. Ca urmare, în amunte de pragul menționat, eroziunea în adâncime a fost înlocuită cu acumularea şi astfel s-a format un puternic aterisament (depozit), alcătuit din

pietrişuri şi bolovănişuri ,de natură să confere stabilitate podului rutier. În avale însă apele deversate în cascadă au menținut şi intensificat eroziunea verticală, care, propagându-se regresiv, a subminat baza acestui prag. De aceea, pentru securitatea noului pod rutier s-a impus realizarea unor lucrari mult mai solide.

PROFIL LONGITUDINAL AL IALOMIȚEI ÎN SECTORUL MOROENI - TÂRGOVIȘTE
Lucrările hidrotehnice și impactul în morfodinamica de albie



Lacul de acumulare de la Pucioasa, format în 1975, a ridicat baza locală de eroziune, în medie, cu 15 m. Variaţiile de nivel ale lacului au loc în funcţie de regimul de scurgere din amunte şi de regimul consumului de apă. Pe acest segment natural al profilului longitudinal, aflat în echilibru dinamic, procesul caracteristic era aluvionarea. Lacul de retenție a provocat intensificarea acumulării fluviatile în amunte (bolovănişuri, pietrişuri, nisipuri), procesul transmiţându-se în lungul albiei în funcţie de oscilaţiile nivelului lacului şi respectiv ale remuului. Imediat în avale de baraj, în condiţiile existenţei unor lucrări speciale (radier,canale, praguri), este suprimată eroziunea în adâncime, aceasta reapărând apoi în manifestare moderată. În cea mai mare parte a sectorului aferent depresiunii Pucioasa aluvionarea redevine procesul dominant (pietrişuri, nisipuri). Subliniem însă că intensitatea procesului de aluvionare a scăzut datorită reducerii debitului solid în avale de baraj, fiind vorba de depunerea materialelor fine în cuveta lacustră şi a celor grosiere în partea terminală a lacului şi în amunte de aceasta.

Barajul de la Doiceşti, situat în avale de podul rutier Vulcana Pandele, este destinat acumulării apei în vederea alimentării termocentralei Doiceşti şi a celorlalte unităţi industriale de pe această platformă. Înalt de 3 m, acesta a dus la formarea unui lac şi a unui aterisament,

respectiv la ridicarea profilului longitudinal natural la această cotă. Aterisamentul generat are un rol important în consolidarea pilelor noului pod rutier. În avale de baraj, prin forța apelor deversate (în special la viituri), are loc subminarea radierului, cu risc pentru integritatea barajului. Totodată, eroziunea în adâncime devine intensă, ceea ce a impus construirea unei serii de praguri (deci un profil longitudinal în trepte) în porțiunea Doiceşti pentru liniştirea apelor şi atenuarea forței erozionale.

Pragul hidrotehnic de la Teiş (Targoviste) a fost construit pentru a oferi protecție podurilor rutiere şi feroviare, amplasate acolo unde cursul Ialomitei prezinta o schimbare de directie(o curbura) si o ruptură de panta semnificativă(tectono-structurală) a profilului longitudinal,acolo unde eroziunea în adâncime si subsaparea malului drept erau accentuate.

Acest prag a înălțat nivelul de baza local cu 3 m, determinând, în amunte, înlocuirea eroziunii în adâncime cu acumularea şi formarea unui aterisament care consolidează pilele podurilor construite aici. Reducerea pantei talvegului a dus şi la manifestarea eroziunii laterale, care subminează, mai ales la ape mari, malul drept al Ialomiței, într-un sector în care râul înregistrează o schimbare importantă de direcție. Consecințele au devenit negative pentru podurile în cauză, ele aflându-se la un moment dat sub riscul detaşării de terenul în care sunt încastrate (terasa a doua a Ialomiței). Viiturile din iunie 2001 şi iunie 2005 ne-au arătat gravitatea situației. Lucrările hidrotehnice de apărare efectuate în 2005-2006 au fost parțial compromise, dar cele reluate în 2008, propunând soluții tehnice noi, credem că vor da rezultatele scontate. În avale de prag, pe o lungime de circa 500 m, eroziunea în adâncime si surparile de maluri rămân procesele dominante, încât albia , bine sculptata în roca subiacentă, a lut aspectul de canal.

Pragul de la Valea Voevozilor (Târgovişte), alături de cel precedent, contribuie la regularizarea scurgerii apelor în albie şi la controlul eroziunii fluviatile în sectorul în care Ialomița străbate, relativ periferic, municipiul Târgovişte. Acest prag ridică baza locală de eroziune cu 3 m, favorizând aluvionarea în amunte (pietrişuri, nisipuri, mâluri) şi formarea unui pat aluvial consistent. Pe de altă parte, înălțarea patului de aluviuni din albia minoră a sporit riscul inundațiilor în lunca Ialomitei, situație corectată parțial prin construirea unor diguri de protecție. De asemenea, se observă dezvoltarea unui proces de mendrare a acestei albii adâncite în nivelul terasei de 3 m, cu formarea alternantă de renii şi de maluri abrupte, cu surpări. În avale de acest prag, procesul dominant este acumularea, care, împreună cu eroziunea laterală, va impune trăsăturile principale ale mofodinamicii fluviatile în sectorul de câmpie al Ialomitei, caracterizat prin despletire şi meandrare.

Urmare a lucrărilor hidrotehnice efectuate, albia Ialomiței în sectorul Moroieni - Târgovişte se caracterizează astăzi printr-un profil longitudinal complex, în care alternează

secţiunile regularizate natural sau artificial, de mai mari dimensiuni (de ordinul sutelor de metri şi kilometrilor), şi secţiunile în dezechilibru natural şi artificial, de mai mici dimensiuni (de ordinul zecilor şi sutelor de metri). În funcţie de suita acestora se diferenţiază morfodinamica actuală de albie în profil longitudinal şi transversal.

IALOMIŢA ÎN SECTORUL MOROENI - TÂRGOVIŞTE
Lucrări hidrotehnice, procese de albie, măsuri prioritare
0 1 2 km
Moroeni
Pietroşiţa
Prag - Pietroşiţa (4 m)
Procese amonte - aluvionare intensă
- formarea unui aterisament de protecţie a podului rutier (DN 75)
- ridicarea nivelului de bază local cu 4 m
avale - eroziune în adâncime intensă
- subminarea bazei pragului
Actiuni prioritare
construcţia de praguri în serie pentru liniştirea apelor şi protecţia pragului principal.
Buciumeni
Actiuni prioritare
renunţarea la exploatarea materialelor din patul aluvial, echilibrant al albiei minore.
Prag - Buciumeni (1,5 m)
- aluvionare intensă, în albia majoră
- formarea unui aterisament de protecţie a podului rutier Dealu Mare - Buciumeni
- ridicarea nivelului de bază local cu 1,5 m
- eroziune în adâncime de slabă intensitate.
Fieni
Prag - Fieni (3 m)
Actiuni prioritare
protecţia digurilor
Lucrări de liniştire a apelor
Diguri
Berivoieşti
- retenţia apei într-un bazin de mici dimensiuni
- aluvionare intensă
- colmatarea lacului
- ridicarea nivelului de bază local cu 3 m
- eroziune în adâncime.
Moţăeni
L. Pucioasa
Pucioasa
- Baraj (20m) Pucioasa
- Canal;
- Praguri în serie
Actiuni prioritare
- lucrări antierozionale în amonte de lacul de acumulare
- lucrări de dragare a cuvetei lacustre
- retenţia apei într-un bazin de mare capacitate (10,5 mil m3) - 1975
- oglinda lacului, variabilă, ridică nivelul de bază local, în medie, cu 15 m
- aluvionare intensă în partea terminală a lacului, în special cu aluviuni grosiere
- colmatarea lacului, în special cu aluviuni fine în suspensie (cca. 55% din volum)
- aluvionare redusă la praguri
- reducerea debitului solid (în special prin reţinerea aluviunilor grosiere)
- aluvionare redusă (nisip şi mâl);
materialul grosier provine numai din remanierea aluviunilor din albia majoră, la ape mari, şi din aportul tributarilor;
- eroziune în adâncime de slabă intensitate
Brăneşti
- retenţia apei
- formarea unui aterisament
- ridicarea nivelului de bază local cu 3 m
- subsăparea radierului
- eroziune în adâncime
Doiceşti Baraj
Doiceşti Praguri
(în serie, 4 m; lucrări existente şi în execuţie)
Doiceşti
- aluvionare în diferite grade şi stadii
- formarea unor aterisamente de protecţie a podurilor (rutier, feroviar)
- ridicarea nivelului de bază local, pe întregul sector, cu 4 m
- eroziune în adâncime în curs de diminuare
Actiuni prioritare
1- continuarea lucrărilor hidrotehnice
Şotânga
Teiş
Ialomiţa
Prag - Teiş (3m)
- aluvionare intensă
- formarea unui aterisament de protecţie a podurilor rutier şi feroviar;
- eroziune laterală
- ridicarea nivelului de bază local cu 3 m
- eroziune în adâncime acentuată
- subminarea bazei pragului
Actiuni prioritare
Amenajarea albiei Ialomiţei pe întregul sector aferent municipiului Târgovişte
Prag - Teiş
Valea Voievozilor
Prag - Valea Voievozilor(3m)
- aluvionare moderată;
- formarea unui ateri-sament de protecţie a podului rutier Târgovişte - Valea Voievozilor;
- ridicarea nivelului de bază local cu 3 m;
- eroziune în adâncime de slabă intensitate;
TÂRGOVIŞTE

Problemele de ordin tehnic ce decurg din fiecare caz sunt indicate în harta alăturată ca măsuri prioritare . Este esențială însă abordarea acestora într-un mod corelat,unitar, adică pe întregul curs al râului Ialomița în sectorul analizat. Întrucât majoritatea lucrărilor hidrotehnice efectuate până în prezent comportă şi o latură negativă, iar rezultatele pozitive sunt strict locale, se impune întocmirea unui proiect de regularizare a întregului curs subcarpatic al Ialomiței, ceea ce presupune încadrarea lucrărilor hidrotehnice existente (cu corectivele de rigoare) într-un sistem unitar. Astfel va fi posibilă regularizarea profilului longitudinal pe tot sectorul său subcarpatic şi corelarea cu lucrările de pe tributari, cu lucrările din sectorul montan şi de câmpie. Controlul scurgerii apelor în albie şi al morfodinamicii fluviatile va scoate din sfera de risc infrastructura tehnico-economică, aşezările şi terenurile aflate în zona riverană Ialomiței.

TABEL

LUCRĂRI HIDROTEHNICE, PROCESE DE ALBIE, ACȚIUNI PRIORITARE (IALOMIȚA ÎN SECTORUL MOROENI - TÂRGOVIŞTE)

Lucrări hidrotehnice	Procese		Acțiuni prioritare
	Amunte	Avale	
0	1	9	3
Prag - Pietrosița (4 m)	- Aluvionare intensă - Formarea unui aterisament de protecție a podului rutier (DN 71) - Ridicarea nivelului de bază local cu 4 m	- Eroziune în adâncime intensă - Subminarea radierului	- Construcția de praguri în serie pentru liniştirea apelor şi protecția pragului principal
Prag - Buciumeni (1,5 m)	- Aluvionare în albia minorasi albiamajoră - Formarea unui aterisament de protecție a podului rutier Dealu Mare - Buciumeni - Ridicarea nivelului de bază local cu 1,5 m	- Eroziune în adâncime de slabă intensitate	- Renunțarea la exploatarea materialelor din patul aluvial al albiei minore
Prag - Fieni (3 m) Lucrări de liniştire a apelor Diguri	- Retenția apei într-un bazin de mici dimensiuni - Aluvionare intensă - Colmatarea lacului - Ridicarea nivelului de bază local cu 3 m	- Eroziune în adâncime moderată	- Protecția digurilor

Baraj - Pucioasa (20 m) Canal Praguri în serie	- Retenția apei într-un bazin de mare capacitate (10,5 milioane m^3) - 1975 - Oglinda lacului, variabilă, ridică nivelul de bază local, în medie, cu 15 m - Aluvionare intensă în partea terminală a lacului (aluviuni grosiere) - Colmatarea lacului, în special cu aluviuni fine în suspensie (cca. 60% din volum)	- Reducerea debitului solid (în special prin reținerea aluviunilor grosiere) - Aluvionare redusă (nisip şi mâl); materialul grosier provine numai din aluviunile din albia majoră (la ape mari) şi din aportul tributarilor - Eroziunea în adâncime de slabă intensitate	- Lucrări antierozionale în amunte de lacul de acumulare - Lucrări de dragare a cuvetei lacustre
Barajul Doiceşti	- Retenția apei - Acumulare de aluviuni şi formarea unui aterisament de protectie	- Subsăpare în fața radierului - eroziunea în adâncime	- Refacerea periodică a radierului
- Praguri în serie - Doiceşti (4 m)	- Aluvionare în diferite grade şi stadii - Formarea unor aterisamente de protecție a podurilor (rutier, feroviar) - Ridicarea nivelului de baia local, pe întregul sector, cu 4 m	- Eroziune în adâncime în curs de diminuare	- Continuarea lucrărilor hidrotehnice
Praguri - Târgovişie *a.* Prag - Teiş (3 m) b. Prag - Valea Voevozilor (3 m)	- Aluvionare intensă - Formarea unui aterisament de protecție a podurilor feroviar şi rutier - Eroziune laterală - Ridicarea nivelului de baza local cu 3 m - Formarea unui aterisament de protecție a podului rutier Târgovişte - Valea Voevozilor - Ridicarea nivelului de baza local cu 3 m -Aluvionare,eroziune laterala,meandrare	-Subsapare si subminarea bazei pragului -Subsaparea malurilor,surpari -Subsapare si subminarea radierului -Subsaparea malurilor,surpari -Aluvionare	- Amenajarea albiei Ialomiței pe întregul sector aferent municipiului Târgovişte

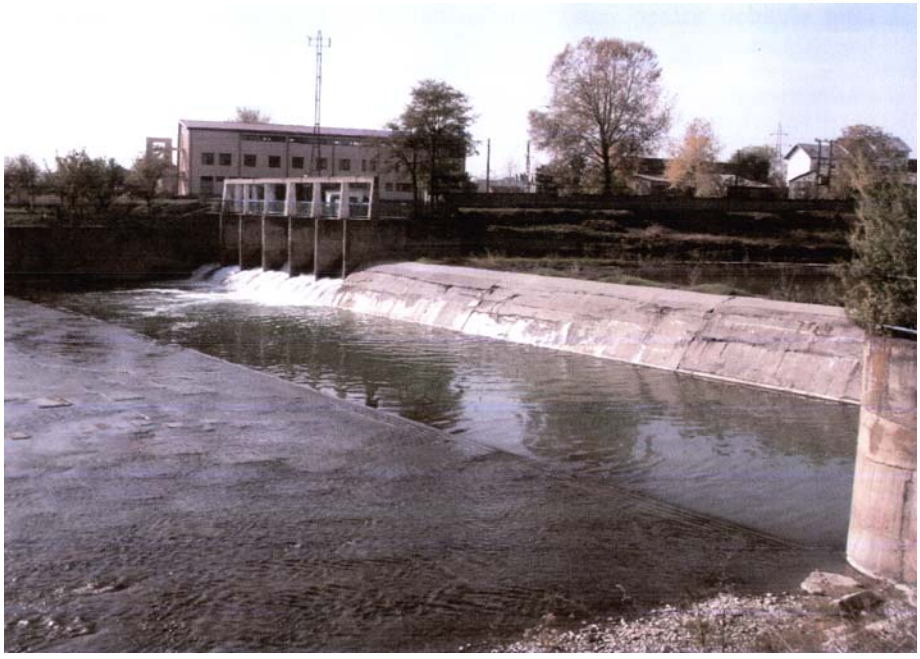
Eroziunea laterală subminează malul concav al unor curburi ,ceea ce poate să pericliteze construcţiile de infrastructură amplasate pe astfel de sectoare. Imaginea satelitară IKONOS ne arată cazul albiei Ialomiţei la Teiş (Târgovişte), acolo unde sunt practicate două poduri (rutier şi feroviar). Lucrările hidrotehnice reluate in anul 2009 (dupa cele efectuate in 2006-2007si compromise in scurt timp),pe baza unui proiect nou, sunt menite a rectifica cursul si de a consolida malul concav al albiei în secţiunea respectivă

Un vechi prag hidrotehnic ridicat în avale de podurile rutier şi feroviar de la Teiş (Târgovişte)

Consolidarea malului drept al Ialomiței (sectorul Teiş – poduri), realizată prin gabioane (proiect PHARE 2006 – 2007) a fost compromisă de primele episoade de ape mari

Lucrările hidrotehnice realizate printr-un nou proiect (2009) au constat din un prag suplimentar în amonte de cel vechi, un canal de colectare a albiei Ialomiței şi un zid din beton pentru consolidarea eficace a malului drept

Dezvoltarea unui proces de meandrare al cursului Ialomiței în amunte de pragul de la Valea Voievozilor (Târgoviște), lucrare care a regularizat profilul lognitudinal



Pragul de la Valea Voievozilor a ridicat patul albiei cu 3 m, prin formarea unui aterisament

BIBLIOGRAFIE

Busch R. M., Tasa D., (1990), *Laboratory Manual in physical geology*, Third Edition, Macmillon Publishing Company, New York

Christopherson W. R., (2009), *Geosystems, An Introduction to Physical Geography*, Seventh Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA

Coque R., (2006), *Geomorphologie*, Armand Colin, Paris

Derruau M., (2001), *Les formes du relief terrestre*, 8e edition, Armand Colin/Masson, Paris

Embleton C., Thornes J., (1979), *Process in Geomorphology*, Edward Arnold Publishers Ltd., London

Grecu Florina, (1992), *Bazinul Hârtibaciului. Elemente de morfohidrografie*, Edit. Academiei, Bucureşti

Grecu Florina, Comănescu Laura, (1998), *Studiul reliefului. Îndrumător pentru lucrări practice,* Edit. Universității din Bucureşti

Grecu Florina, Palmentola G., (2003), *Geomorfologie dinamică,* Edit. Tehnică, Bucureşti

Ielenicz M., (2004), *Geomorfologie*, Edit. Universitară, Bucureşti

Levin H., (1990), *Contemporary Physical Geology*, Third Edition, Saunders College Publishing, USA

Loghin V., (1996), *Degradarea reliefului şi a solului*, Edit. Universității din Bucureşti

Loghin V., (1999), *Modificari antropice in profilul longitudinal al Ialomitei şi efectele asupra proceselor de albie (sectorul Moroieni – Târgovişte)*, Anale Seria Geografie, Tomul 1, Universitatea Valahia Târgovişte

Loghin V., (2000), *Elemente de geografie fizica*, Edit. Sfinx, Târgovişte

Loghin V., (2002), *Modelarea actuală a reliefului şi degradarea terenurilor în bazinul Ialomiței*, Editia a II-a, Edit. Cetatea de Scaun, Târgovişte

Loghin V., (2003), *Valea Ialomitei în sectorul subcarpatic Fieni – Doicesti. Probleme de mediu*, Anale, Seria Geogarfie,Tomul 3, Universitatea Valahia Târgovişte

LoghinV., Murătoreanu G., (2009), *Teledetecție. Aplicații în geografie*, Edit. Valahia University Press, Târgovişte

Mac I., (1986), *Elemente de geomorfologie dinamică*, Edit. Academiei, Bucureşti

Rădoane Maria, *et.all*., (2001), *Geomorfologie*, vol. II, Ediția a II-a, Edit. Universității Suceava

Velcea Valeria, Costea Marioara, (2006), *Geomorfologie generală*, Edit. Universităţii *Lucian Blaga*, Sibiu

Zăvoianu I., (1978), *Morfometria bazinelor hidrografice*, Edit. Academiei, Bucureşti

*** (1974), *Dicţionar geomorfologic*, Edit. Ştiinţifica, Bucureşti.

***(2003/2004),Deutschland KompaktAtlas 1:300.000,ADAC Verlag GmbH, Munchen

CUPRINS

INTRODUCERE 3
1. REȚELE ŞI BAZINE HIDROGRAFICE, ALBII ŞI VĂI FLUVIALE 5
2. MORFOGRAFIE ŞI MORFOMETRIE FLUVIALĂ 15
2.1. Tipuri de rețele hidrografice 15
2.2. Ierarhizarea rețelei hidrografice. Ordinul *segmentului de râu* 17
2.3. Numărul de râuri (numărul segmentelor de râu) 19
2.4. Lungimea râurilor (a segmentelor de râu) 20
2.5. Suprafața bazinelor 20
2.6. Panta albiei râurilor 21
2.7. Alte elemente morfografice şi morfometrice 21
2.8. Morfologia, morfometria şi morfografia albiilor 22
3. DINAMICA APEI ÎN ALBII 26
3.1. Energii şi forțe care condiționează dinamica apei în albii 26
3.2. Formele de mişcare (curgere) a apei în albii 28
3.4. Viteza şi debitul apei în albii 31
3.5. Modul cum este utilizată şi consumată energia apei în albii 33
4. MODELAREA ŞI DINAMICA ALBIILOR FLUVIALE 34
4.1. Eroziunea fluvială. Procesele fluviale şi formele de relief generate 34
4.2. Factorii de control ai morfologiei albiei fluviale 43
4.3. Dinamica în plan orizontal a albiilor fluviale 45
4.3.1. Modele de albii 45
4.3.2. Albii meandrate 48
4.3.2.1. Noțiuni, elemente, tipologie, forme de relief 48
4.3.2.2. Formarea şi evoluția meandrelor 52
5. UNELE TEME DE GEOMORFOLOGIE FLUVIATILĂ REFERITOARE LA VALEA IALOMIȚEI (SECTORUL MOROIENI – TÂRGOVIŞTE) 62
5.1. Morfologia de ansamblu a Văii Ialomiței în sectorul subcarpatic (Moroieni – Doiceşti*)* ..... **Eroare! Marcaj în document nedefinit.**
5.2.Morfologia şi morfodinamica albiei Ialomiței în sectorul Moroieni – Târgoviște **Eroare! Marcaj în document nedefinit.**
BIBLIOGRAFIE 77